



HAL
open science

Atlas radio-anatomique chez les petits mammifères : création d'un outil pédagogique multimédia

Marine Lamy

► **To cite this version:**

Marine Lamy. Atlas radio-anatomique chez les petits mammifères : création d'un outil pédagogique multimédia. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04810764

HAL Id: dumas-04810764

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04810764v1>

Submitted on 29 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Année 2024

**ATLAS RADIO-ANATOMIQUE CHEZ LES PETITS
MAMMIFÈRES : CRÉATION D'UN OUTIL PÉDAGOGIQUE
MULTIMÉDIA**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE
présentée et soutenue publiquement devant
la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)
le 14 Octobre 2024

par

Marine, Chloé LAMY

sous la direction de

Charly PIGNON

JURY

Président du jury :	M. Henry CHATEAU	Professeur à l'EnvA
Directeur de thèse :	M. Charly PIGNON	Ingénieur de recherche à l'EnvA
Examineur :	M. Jérémy MORTIER	Maître de conférences associé à l'EnvA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire

Version juillet 2023



Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Blot	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loic	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences HDR	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneç	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Benckekroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Kurtz	Maxime	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespoules-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mtimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Quéré	Émilie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

A M. Henry Château, Président du Jury de cette thèse, Professeur à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse, pour sa pédagogie et sa bienveillance, sincères remerciements.

A M. Charly Pignon, Ingénieur de recherche à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur de me proposer ce sujet de thèse, pour son accompagnement, ses précieux conseils et son implication, sincères remerciements.

A M. Jérémy Mortier, Maître de conférences à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury de cette thèse, mes hommages respectueux.

A Mme Delphine Maquet, Ingénieur d'étude en Imagerie Médicale à l'EnvA,
Pour avoir apporté son expertise en positionnement des animaux, son efficacité, sa pédagogie, sa rigueur et sa bienveillance. Mes sincères remerciements pour ses cours lors de ces années, mais particulièrement pour son implication dans cette thèse.

A Mme Delphine Lehuède, Auxiliaire spécialisée vétérinaire en NAC à l'EnvA,
Pour avoir réalisé l'anesthésie à chacune des sessions radiographiques, pour sa bonne humeur, sa gentillesse, et son savoir-faire avec les NAC. Ma sincère reconnaissance.

A Tristan, Mon Ancien et Assistant en Imagerie,
Pour m'avoir donné tes précieux conseils, m'avoir soutenue et me donner confiance.

Aux propriétaires des animaux de ma thèse,
Pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis de réaliser ce projet. Ma sincère reconnaissance pour avoir participé à la formation de vos pairs.

A mes parents,
Pour leur soutien depuis le début de mes études, et particulièrement pendant ma thèse. Pour leurs nombreuses relectures, leurs conseils, leur confiance et patience. Merci infiniment.

A mes amis et ma famille Alforienne,
Pour avoir rendu ma vie étudiante si riche et pleine de partage, de rires et de beaux souvenirs. Merci infiniment.

Table des matières

Liste des figures	4
Liste des tableaux.....	9
Liste des abréviations	10
Introduction	13
Première partie : Synthèse bibliographique.....	14
1. Choix des espèces et classification	14
2. Contention des petits mammifères	15
A. <i>Contention active des petits mammifères.....</i>	<i>16</i>
a. Contention active de furet.....	16
b. Contention active de lapin	17
c. Contention active des hystricomorphes.....	18
d. Contention active des myomorphes	18
B. <i>Contention passive des petits mammifères.....</i>	<i>19</i>
3. Anesthésie des petits mammifères	20
A. <i>Examen pré-anesthésique des petits mammifères</i>	<i>20</i>
B. <i>Mise à jeun des petits mammifères</i>	<i>21</i>
a. Mise à jeun du furet	21
a. Mise à jeun des rongeurs et lagomorphes	21
C. <i>Anesthésie injectable des petits mammifères</i>	<i>22</i>
D. <i>Anesthésie gazeuse des petits mammifères</i>	<i>22</i>
a. Matériel anesthésique	22
b. Étapes anesthésiques	22
E. <i>Monitoring anesthésique des petits mammifères</i>	<i>23</i>
F. <i>Risque anesthésique des petits mammifères.....</i>	<i>23</i>
4. Radioprotection	23
5. Équipement radiographique	24
6. Constantes radiographiques.....	24
7. Positionnements radiographiques des petits mammifères	24
A. <i>Incidence latéro-latérale : thorax, abdomen et corps entier</i>	<i>25</i>
a. Incidence latéro-latérale : Thorax	25
b. Incidence latéro-latérale : Abdomen.....	26
c. Incidence latéro-latérale : Corps entier.....	26
B. <i>Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : thorax, abdomen et corps entier</i>	<i>27</i>
a. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Thorax	27
b. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Abdomen.....	27
c. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Corps entier.....	28
C. <i>Positionnement radiographique de tête.....</i>	<i>29</i>
a. Incidence latéro-latérale : Tête	29
b. Incidence dorso-ventrale : Tête	30
c. Incidence oblique : Tête	31
D. <i>Positionnement radiographique du squelette axial.....</i>	<i>33</i>
a. Incidence latéro-latérale du squelette axial	34
b. Incidence ventro-dorsale du squelette axial	37
E. <i>Positionnement radiographique du squelette appendiculaire.....</i>	<i>39</i>
a. Membre thoracique.....	40
b. Membre pelvien	44
8. Radio-anatomie des petits mammifères	47
A. <i>Radio-anatomie du thorax des petits mammifères.....</i>	<i>47</i>
a. Radio-anatomie de la trachée	47

b. Radio-anatomie du médiastin	49
c. Radio-anatomie des poumons	51
d. Radio-anatomie du cœur	52
B. Radio-anatomie de l'abdomen des petits mammifères	55
a. Radio-anatomie de l'appareil digestif	55
b. Radio-anatomie des organes extra-digestifs	58
c. Radio-anatomie de l'appareil urinaire	60
d. Radio-anatomie de l'appareil reproducteur	61
C. Radio-anatomie de la tête des petits mammifères	62
a. Radio-anatomie de la tête : Furet	62
b. Radio-anatomie de la tête : Lapin	63
c. Radio-anatomie de la tête : hystricomorphes	68
d. Radio-anatomie de la tête : Myomorphes	69
D. Radio-anatomie du squelette axial des petits mammifères	71
a. Radio-anatomie du squelette axial : Furet	71
b. Radio-anatomie du squelette axial : Lapin	71
c. Radio-anatomie du squelette axial : Cochon d'Inde	72
d. Radio-anatomie du squelette axial : Chinchilla	73
e. Radio-anatomie du squelette axial : Myomorphes	73
E. Radio-anatomie du squelette appendiculaire des petits mammifères	74
a. Radio-anatomie de la ceinture thoracique	74
b. Radio-anatomie du membre thoracique	75
c. Radio-anatomie de la ceinture pelvienne	77
d. Radio-anatomie du membre pelvien	77
Deuxième partie : élaboration du support pédagogique multimédia	81
1. Introduction	81
2. Matériels et méthodes	82
A. Les animaux	82
B. Matériel radiographique	82
C. Séances de prise de vues	83
a. Organisation des séances	83
b. Contention et positionnement des animaux	83
c. Clichés photographique et radiographique	84
3. Création de l'atlas photographique et radiographique	84
A. Traitement des clichés photographiques	84
B. Traitement des clichés radiographiques	86
C. Annotation des clichés radiographiques	89
D. Organisation des clichés	90
4. Création du contenu multimédia	90
A. Présentation de la plateforme numérique	90
B. Présentation du contenu pédagogique	92
5. Discussion	93
A. Intérêts de l'outil	93
B. Difficultés de mise en œuvre	94
C. Limites	94
Conclusion	99
Liste des références bibliographiques	101
Annexe 1 – Objectifs d'apprentissage de l'examen radiographique des NAC (UC 316).....	105
Annexe 2 – Copie d'écran de la page d'accueil du contenu pédagogique	106
Annexe 3 – Copie d'écran des incidences d'un animal (furet).....	107
Annexe 4 – Copie d'écran d'une page présentant une incidence.....	108

Liste des figures

Figure 1 : Contention active de furet, le manipulateur place sa main autour du cou et autour des membres thoraciques (Fox et Marini, 2014)	17
Figure 2 : Contention active de furet, le manipulateur tient le furet par la peau du cou et maintient ses membres pelviens avec l'autre main (Fox et Marini, 2014).....	17
Figure 3 : Contention active de lapin à l'aide d'une serviette f(Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	17
Figure 4 : Contention active de lapin, le manipulateur tient les lombaires du lapin avec une main (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	17
Figure 5 : Contention active de cochon d'Inde, le manipulateur a une main sous les membres pelviens et une main sous le thorax de l'animal (Banks <i>et al.</i> , 2013).....	18
Figure 6 : Contention active de chinchilla, le manipulateur a une main sous les membres pelviens et une main sous le thorax de l'animal (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020)	18
Figure 7 : Contention active de rat, les doigts sont placés autour du cou et des membres thoraciques (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	19
Figure 8 : Contention active de rat, le manipulateur tient le rat par la peau du cou et par la base de la queue (Sirois, 2022).....	19
Figure 9 : Contention passive de furet à l'aide de mousse et de sac de sable.....	20
Figure 10 : Contention passive de lapin à l'aide d'un matelas en mousse et de ruban adhésif	20
Figure 11 : Contention passive de rat à l'aide de ruban adhésif et de compresses	20
Figure 12 : Chambre à induction à l'aide d'un masque de grande taille sur un rat (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	23
Figure 13 : Masque adapté à la taille d'un rat pour le maintien de l'anesthésie (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	23
Figure 14 : Position et cadrage latéro-latérale droit de thorax de rat.....	25
Figure 15 : Position et cadrage latéro-latérale droit d'abdomen de rat.....	26
Figure 16 : Position et cadrage latéro-latérale droit de corps entier de souris	27
Figure 17 : Position et cadrage ventro-dorsale de thorax de furet.....	29
Figure 18 : Position et cadrage ventro-dorsale d'abdomen de furet.....	29
Figure 19 : Position et cadrage ventro-dorsale de corps entier de souris	29
Figure 20 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de lapin	30
Figure 21 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de furet.....	30

Figure 22 : Position et cadrage dorso-ventrale de tête de furet.....	31
Figure 23 : Position et cadrage dorso-ventrale de tête de lapin	31
Figure 24 : Position et cadrage oblique droit de tête de lapin.....	32
Figure 25 : Position et cadrage oblique droit de tête de furet	32
Figure 26 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de lapin (Mulherin, 2023)	33
Figure 27 : Position et cadrage ventro-dorsale de tête de lapin (Mulherin, 2023)	33
Figure 28 : Position et cadrage oblique droit de tête de lapin (Mulherin, 2023)	33
Figure 29 : Position et cadrage oblique gauche de tête de lapin (Mulherin, 2023).....	33
Figure 30 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis cervicale de furet.....	34
Figure 31 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis thoracique de lapin	35
Figure 32 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis lombaire de chinchilla.....	35
Figure 33 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis caudal de chinchilla	36
Figure 34 : Position et cadrage latéro-latérale droit de bassin de cochon d'Inde	37
Figure 35 : Position et cadrage ventro-dorsal de rachis cervical de chinchilla	37
Figure 36 : Position et cadrage ventro-dorsale de rachis thoracique et cervicale de furet	39
Figure 37 : Position et cadrage ventro-dorsale de rachis lombaire de furet	39
Figure 38 : Position et cadrage ventro-dorsale de bassin de chinchilla.....	39
Figure 39 : Position et cadrage médio-latérale droit de scapula et épaule de furet.....	40
Figure 40 : Position et cadrage cranio-caudale droit de scapula, épaule et humérus de lapin	40
Figure 41 : Position et cadrage médio-latéral droit d'humérus de lapin.....	41
Figure 42 : Position et cadrage cranio-caudal droit de radius, ulna et coude de lapin	42
Figure 43 : Position et cadrage médio-latérale droit de radius, ulna et coude de lapin	43
Figure 44 : Position et cadrage médio-latéral droit de fémur de lapin	45
Figure 45 : Position et cadrage cranio-caudal droit de fémur de lapin	45
Figure 46 : Position et cadrage médio-latéral droit de tibia de lapin	46
Figure 47 : Position et cadrage cranio-caudal droit de tibia et pied de lapin	46
Figure 48 : Schéma de l'anatomie latérale thoracique du furet (Lebas, 2008)	48
Figure 49 : Cliché radiographique latéro-latéral droit légendé de thorax de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	48

Figure 50 : Anatomie viscérale latérale du thorax de lapin. On observe la présence de graisse au niveau anatomique du thymus, crânialement au cœur (Turner Giannico <i>et al.</i> , 2015).....	50
Figure 51 : Anatomie viscérale ventrale du thorax de lapin (Turner Giannico <i>et al.</i> , 2015).....	50
Figure 52 : Cliché radiographique latéro-latéral droit légendé de thorax de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	50
Figure 53 : Dessin de l'anatomie latérale des viscères thoraciques et abdominales de furet (O'Malley, 2005).....	51
Figure 54 : Dessin de l'anatomie latérale des viscères thoraciques et abdominales de furet sans le poumon gauche (O'Malley, 2005).....	53
Figure 55 : Schémas dorsal et latéral de thorax de furet avec les mesures de la silhouette cardiaque. SA = largeur (short axis) et LA = longueur (long axis). La somme des deux mesures est comparée à la longueur entre les vertèbres T5 et T8 (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020).....	54
Figure 56 : Schéma latéral des viscères abdominales du lapin (O'Malley, 2005)	56
Figure 57 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	57
Figure 58 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	57
Figure 59 : Photo ventrale des viscères abdominales du lapin (O'Malley, 2005)	58
Figure 60 : Schéma ventral des viscères abdominale du cochon d'Inde : le caecum et le colon occupe la majorité de l'espace abdominal ventral (O'Malley, 2005)	58
Figure 61 : Anatomie dorsale du crâne de furet, les flèches rouges désignent la sténose entre les os de la face et du crâne (O'Malley, 2005).....	62
Figure 62 : Cliché radiographique dorso-ventral légendé de tête de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	63
Figure 63 : Anatomie latérale du crâne de lapin (O'Malley, 2005).....	64
Figure 64 : Anatomie dorsale du crâne de lapin (O'Malley, 2005).....	64
Figure 65 : Schéma latéral des dents d'un lapin, et schéma individuel d'une dent. A : Couronne clinique ; B : Couronne de réserve ; C : Bourgeon germinale (Quesenberry <i>et al.</i> , 2020)	65
Figure 66 : Cliché radiographique en incidence latéro-latérale de crâne de lapin, avec les lignes de référence, dentition normale (Gracis, 2008 ; Boehmer et Crossley, 2009 ; Bulliot et Flenghi, 2020).	66
Figure 67 : Cliché radiographique en incidence dorso-ventrale de crâne de lapin, avec les lignes de référence (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail).....	67
Figure 68 : Anatomie latérale du crâne de cochon d'Inde (O'Malley, 2005)	68

Figure 69 : Cliché radiographique oblique droit légendé de tête de chinchilla (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	69
Figure 70 : Anatomie latérale du crâne de rat (O'Malley, 2005)	70
Figure 71 : Anatomie latérale du squelette du furet (O'Malley, 2005)	71
Figure 72 : Anatomie latérale du squelette de lapin (O'Malley, 2005)	72
Figure 73 : Anatomie du squelette de cochon d'Inde (O'Malley, 2005)	73
Figure 74 : Anatomie latérale du squelette du rat (O'Malley, 2005)	74
Figure 75 : Cliché radiographique cranio-caudale légendé d'épaule de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	75
Figure 76 : Anatomie latérale de l'épaule gauche du lapin	76
Figure 77 : Anatomie dorsale du carpe de lapin (O'Malley, 2005).....	76
Figure 78 : Schéma dorsal du carpe gauche de lapin (Winn, 2006).....	76
Figure 79 : Cliché radiographique cranio-caudale légendé d'épaule de cochon d'Inde (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail).....	77
Figure 80 : Anatomie dorsale du tarse de lapin (O'Malley, 2005).....	78
Figure 81 : Cliché radiographique cranio-caudale légendé de pied de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)	78
Figure 82 : Cliché photographique d'une incidence oblique gauche de tête de lapin, avant traitement	85
Figure 83 : Cliché photographique d'une incidence oblique gauche de tête de lapin, après traitement : un recadrage, deux pivotements et un retournement	85
Figure 84 : Cliché photographique d'incidence cranio-caudale de scapula de chinchilla après traitement.....	86
Figure 85 : Cliché photographique d'incidence oblique droite de cochon d'Inde après traitement..	86
Figure 86 : Exemple de courbe « en S » permettant d'améliorer le contraste.....	87
Figure 87 : Cliché radiographique latéro-latéral droit de corps entier de souris avant traitement (service d'Imagerie du ChuvA-Ac)	88
Figure 88 : Cliché radiographique latéro-latéral droit de corps entier de souris après traitement (service d'Imagerie du ChuvA-Ac) : augmentation du contraste et annotations effacées	88
Figure 89 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de rat (service d'Imagerie du ChuvA-Ac).....	89
Figure 90 : Cliché radiographique médio-latéral légendé de radius/ulna de rat (service d'Imagerie du ChuvA-Ac).....	89

Figure 92 : Exemple d'affichage du module juxtaposition	91
Figure 93 : Exemple d'interaction avec le module « agamotto » : affichage brut, curseur à gauche	92
Figure 94 : Exemple d'interaction avec le module « agamotto » : affichage légendé, curseur déplacé vers la droite	92

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification, nom vernaculaire, nombre de visites et nombre d'exams radiographiques par espèce de petits mammifères au ChuvA-Ac, du 01 janvier 2023 au 01 janvier 2024	14
Tableau 2 : Paramètres physiologiques des espèces étudiées dans cet atlas (Longley, 2008)	20
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des différentes incidences de tête de lapin. La flèche rouge indique l'incidence des rayons. L'étoile rouge indique le nez et les pointillés rouges indiquent le plan de l'os nasal (Mulherin, 2023).	33
Tableau 4 : Particularités des poumons des petits mammifères (Robert, 2022)	51
Tableau 5 : VHS obtenus dans différentes études chez les espèces étudiées dans ce travail.....	55
Tableau 6 : Particularités digestives et extra-digestives des espèces étudiées (HEGELEN et THIRIET, 2012 ; Robert, 2022)	59
Tableau 7 : Positionnements radiographiques des reins de chaque espèce par rapport aux vertèbres thoraciques (T) et lombaires (L) (Krautwald-Junghanns <i>et al.</i> , 2010).....	60
Tableau 8 : Mesures radiographiques (en mm) des reins et ratios avec la deuxième vertèbre lombaire (L2), obtenus dans une étude chez le rat et une chez le furet.....	61
Tableau 9 : Formule dentaire des petits mammifères (Hecht, 2020 ; Mulherin, 2023).....	70
Tableau 10 : Formules vertébrales des petits mammifères étudiés (Krautwald-Junghanns <i>et al.</i> , 2010).....	74
Tableau 11 : Nombre d'heures (h) en NAC et Faune Sauvage (FS) en fonction des années d'école à l'EnvA et des UC pour la promotion 2024.....	81
Tableau 12 : Animaux recrutés dans ce travail avec leur âge, leur statut reproducteur et leur poids.	82
Tableau 13 : Tableau des constantes radiographiques et de leurs valeurs utilisées pour réaliser l'atlas.....	83
Tableau 14 : Code couleur utilisé dans l'atlas pour entourer les organes ou un ensemble d'organe	90
Tableau 15 : Nombre de sous pages (d'incidence) par espèce	92

Liste des abréviations

ASV : Auxiliaire Spécialisé Vétérinaire

bpm : battement par minute

C : canine (dent)

ChuvA-Ac : Centre hospitalier universitaire d'Alfort Animaux de compagnie

CM : Cours Magistraux

EIC : Espace intercostal

EnvA : École nationale vétérinaire d'Alfort

EVE : Études et vie étudiante à l'EnvA

FACCO : Fédération des Aliments préparés pour Chien, Chat, Oiseaux et autres animaux familiers

FC : fréquence cardiaque

FR : fréquence respiratoire

FS : Faune Sauvage

g : gramme

h : heure

I : incisive (dent)

kV : kilovoltage

L : vertèbre lombaire

LA : longueur (long axis)

M : molaire (dent)

mA : milliampère

mm : millimètre

mpm : mouvement par minute

NAC : Nouveaux Animaux de Compagnie

PM : prémolaire (dent)

SA : largeur (short axis)

T : vertèbre thoracique

TD : Travaux Dirigés

TP : Travaux Pratiques

UC : unités de compétences

VB : vésicule biliaire

VHS : Vertebral Heart Score

Introduction

Les Nouveaux Animaux de Compagnie (NAC), particulièrement les petits mammifères (carnivores, rongeurs et lagomorphes) sont appréciés et présents dans les foyers français. Selon la Fédération des Aliments préparés pour Chien, Chat, Oiseaux et autres animaux familiers (FACCO) le nombre de rongeurs en 2022 était de 2,7 millions dans les foyers français (FACCO, 2022).

La demande de soin sur ces animaux ne cesse d'augmenter, et au-delà des vétérinaires spécialisés dans les NAC, les vétérinaires canins sont eux aussi fréquemment confrontés à ces animaux. Ils représentent une diversité d'espèce (carnivores, rongeurs, reptiles...) et de ce fait ils ont des anatomies et des maladies variées qui doivent être connues pour pouvoir les prendre en charge au mieux.

L'examen radiographique est un outil d'examen complémentaire de premier choix, notamment chez les NAC, qui permet l'aide au diagnostic de nombreuses affections : maladie parodontale, affection squelettique, affection respiratoire, affection digestive... C'est un examen à la portée de tout vétérinaire, généraliste comme spécialiste, non invasif et qui comporte peu de contre-indication. Par contre, c'est un examen qui demande une bonne connaissance de base de l'anatomie des petits mammifères ou au moins de pouvoir se référer à des images d'animaux sains, pour pouvoir comparer et identifier les anomalies.

Ce travail se veut être un guide, à destination des étudiants vétérinaires de l'École vétérinaire nationale d'Alfort (EnvA), pour apprendre à réaliser des images radiographiques de petits mammifères et pour apprendre à lire des clichés radiographiques d'animaux sains, pour ensuite être capable d'interpréter des clichés radiographiques d'animaux malades. Cet atlas est mis à disposition sur la plateforme pédagogique de l'école dans la rubrique thèse multimédia.

La première partie de cette thèse consiste en une synthèse bibliographique concernant l'examen radiographique des petits mammifères. Elle présente les étapes préalables à l'examen radiographique, l'examen en lui-même puis l'interprétation radio-anatomique. La seconde partie aborde la conception de l'atlas. Nous verrons uniquement les examens radiographiques réalisés sans préparation, c'est-à-dire sans utilisation de produit de contraste, par souci de simplicité et de compréhension.

Première partie : Synthèse bibliographique

1. Choix des espèces et classification

Les petits mammifères regroupent différents ordres dont celui des rongeurs, des lagomorphes et des carnivores. Les espèces choisies l'ont été en fonction de leur nombre de présentation en visite et de leur nombre d'examens radiographiques réalisés au service NAC du Centre hospitalier universitaire vétérinaire d'Alfort Animaux de compagnie (ChuvA-Ac) à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort, du 01 janvier 2023 au 01 janvier 2024 (Tableau 1).

Tableau 1 : Classification, nom vernaculaire, nombre de visites et nombre d'examens radiographiques par espèce de petits mammifères au ChuvA-Ac, du 01 janvier 2023 au 01 janvier 2024

Espèce	Classification (Robert, 2022)	Nom vernaculaire (Bercker et Pignon, 2022)	Nombre de visites en 2023 au ChuvA-Ac (ENVF, 2024)	Nombre d'examens radiographiques réalisés au ChuvA-Ac (ENVF, 2024)
Lapin	Lagomorphes	Oryctolagus cuniculus	1925	208
Cochon d'Inde = Cobaye	Caviomorphes (rongeurs)	Cavia porcellus	298	32
Rat brun = Surmulot = Rat d'égout = Rat	Myomorphes (rongeurs)	Rattus norvegicus	125	9
Furet	Mustélidés (Carnivores)	Mustela putorius furo	120	14
Chinchilla	Caviomorphes (rongeurs)	Chinchilla lanigera	56	5

Hamster	Myomorphes (rongeurs)	Mesocricetus auratus (hamster doré) ; Cricetulus griseus (hamster de chine) ; Phodopus sungorus (hamster russe) ; Phodopus roborovskii (hamster de roborovski)	53	3
Souris	Myomorphes (rongeurs)	Mus musculus	27	0
Octodon	Caviomorphes (rongeurs)	Octodon degus	23	1
Gerbille de mongolie	Myomorphes (rongeurs)	Meriones unguiculatus	13	0
Écureuil	Sciuromorphes (rongeurs)		0	0
Chien de prairie	Sciuromorphes (rongeurs)		0	0

Les octodons, les gerbilles, les écureuils et les chiens de prairies n'ont pas été choisis dans cet atlas de par leur faible ou nulle représentation au ChuvA-Ac. Le hamster n'a pas pu être intégré dans ce projet pour une question de disponibilité. Les espèces choisies pour ce travail sont donc : le lapin, le cochon d'Inde, le rat, le furet, le chinchilla et la souris.

Dans la suite du travail on utilisera :

- Le terme « rongeurs et lagomorphes » pour désigner l'ensemble des espèces « lapin ; cochon d'Inde ; rat ; chinchilla ; souris ».
- Le terme « myomorphes » pour désigner l'ensemble des espèces « rat ; souris ».
- Le terme « hystricomorphe » pour désigner l'ensemble des espèces « cochon d'Inde ; chinchilla ».
- Le terme « herbivores » pour désigner l'ensemble des espèces « lapin ; cochon d'Inde ; chinchilla ».

2. Contention des petits mammifères

La qualité radiographique est un élément important pour l'interprétation des images. Elle l'est encore plus pour les petits mammifères qui, comme leur nom l'indique, sont de petites tailles et dont la qualité radiographique sera de ce fait moins bonne. Une bonne contention est nécessaire pour garantir une bonne qualité radiographique et éviter un flou cinétique, mais également pour

permettre la sécurité des animaux et du manipulateur, et enfin pour assurer un bon positionnement et donc une bonne interprétation.

La contention des petits mammifères présente plusieurs enjeux (Silverman et Tell, 2004 ; Pignon, 2019) :

- La contention est difficile car les animaux peuvent être très petits (la souris par exemple), et également très actifs.
- Ce sont des animaux stressés. En effet, la plupart des petits mammifères sont des proies et ont tendance à être très agités lors des manipulations.
- Ce sont des animaux fragiles. Le lapin, par exemple, peut facilement se fracturer les vertèbres lombaires en cas de mauvaise contention.
- Enfin, certains animaux peuvent être dangereux pour le manipulateur. Les furets sont des animaux qui peuvent mordre.

A. Contention active des petits mammifères

La contention active est une contention physique : l'animal est non endormi et c'est un manipulateur qui tient l'animal lors de la prise de cliché. Cette contention se réalise sur des animaux peu stressés, facilement manipulables ou qui présentent des contre-indications à l'anesthésie. Plus les animaux sont de petites tailles et plus la contention manuelle est compliquée. Pour certaines positions, il peut être intéressant d'utiliser une serviette pour enrouler l'animal dans celle-ci (lapin, cochon d'Inde, chinchilla) (Figure 3). Voyons ci-dessous un rappel des principales précautions à prendre chez les espèces étudiées.

a. Contention active de furet

La contention de furet doit être adaptée à son comportement. Concernant les animaux dociles, il est possible de les maintenir avec une main autour du cou et du thorax (Figure 1). Pour les animaux moins dociles, il faut se méfier des morsures, et dans ce cas le furet peut être maintenu par la peau du cou (Figure 2). L'autre main tient dans les deux cas les membres pelviens (Fox et Marini, 2014).

Figure 1 : Contention active de furet, le manipulateur place sa main autour du cou et autour des membres thoraciques (Fox et Marini, 2014)



Figure 2 : Contention active de furet, le manipulateur tient le furet par la peau du cou et maintient ses membres pelviens avec l'autre main (Fox et Marini, 2014)



b. Contention active de lapin

Il faut toujours être précautionneux dans la contention des lapins, et bien sécuriser la région lombaire. En effet, le lapin possède une musculature importante pour un squelette fragile ce qui favorise le risque de traumatisme vertébrale (particulièrement au niveau des vertèbres lombaires six et sept) lors de mouvements brusques. Pour cela, on place toujours une main sur les vertèbres lombaires du lapin (Figure 4). Il ne faut pas attraper les lapins par les oreilles, ils possèdent un réflexe otocardiaque (Winn, 2006 ; Pignon, 2020a).

Figure 3 : Contention active de lapin à l'aide d'une serviette f(Quesenberry et al., 2020)

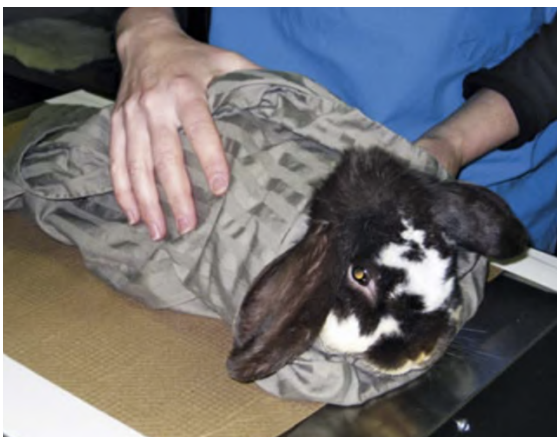


Figure 4 : Contention active de lapin, le manipulateur tient les lombaires du lapin avec une main (Quesenberry et al., 2020)



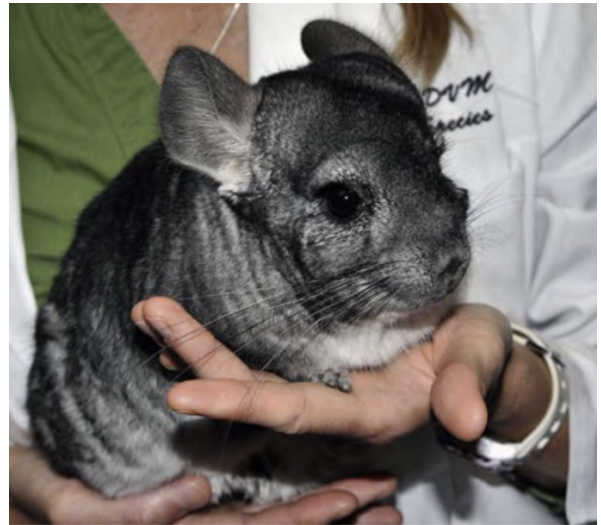
c. Contention active des hystricomorphes

Le cochon d'Inde et le chinchilla sont des animaux relativement dociles qui ne nécessitent pas une contention trop ferme. Pour les déplacer, on leur place une main sous le thorax et une main sous les membres pelviens (Figure 5 et Figure 6). Pour les maintenir sur une table, on place l'index et le majeur de chaque côté du cou. Il faut veiller à ne pas attraper les chinchillas par la queue car la peau se décroche facilement et celle-ci peut alors nécroser. Il ne faut pas non plus les attraper par le cou car les poils s'arrachent facilement (Pignon, 2019 ; Quesenberry *et al.*, 2020).

Figure 5 : Contention active de cochon d'Inde, le manipulateur a une main sous les membres pelviens et une main sous le thorax de l'animal (Banks *et al.*, 2013)



Figure 6 : Contention active de chinchilla, le manipulateur a une main sous les membres pelviens et une main sous le thorax de l'animal (Quesenberry *et al.*, 2020)



d. Contention active des myomorphes

La contention des rats et de souris peut se faire en maintenant le cou et les membres thoraciques avec une main (Figure 7), ou en réalisant un pli de peau au niveau du cou (Figure 8). La base de la queue est tenue avec l'autre main. Il faut faire attention aux morsures, plus particulièrement chez la souris (Sirois, 2022).

Figure 7 : Contention active de rat, les doigts sont placés autour du cou et des membres thoraciques (Quesenberry *et al.*, 2020)

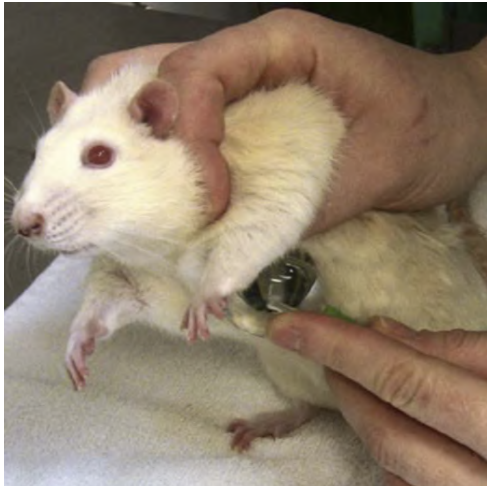
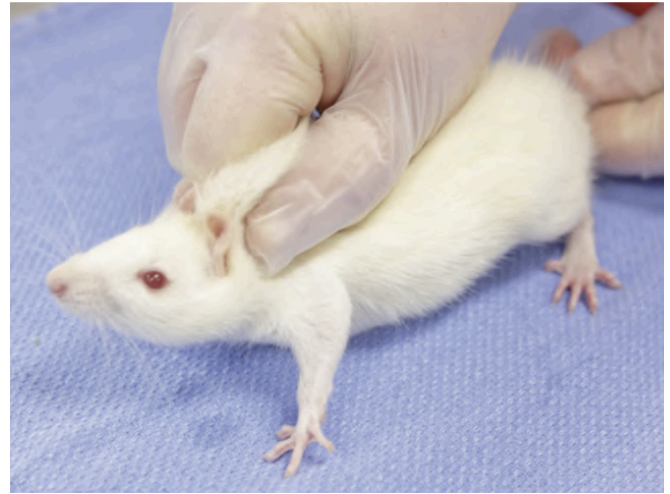


Figure 8 : Contention active de rat, le manipulateur tient le rat par la peau du cou et par la base de la queue (Sirois, 2022)



B. Contention passive des petits mammifères

La contention passive, qui est l'utilisation de molécules sédatives ou anesthésiques, est préférée chez les petits mammifères. Après avoir été anesthésié/sédaté les animaux sont maintenus à l'aide de sacs de sable et de matelas en mousse (Figure 9), comme chez le chien et le chat ou à l'aide de ruban adhésif et de compresses, ce qui permet d'être plus précis sur ces animaux de petites tailles (Figure 10 et Figure 11). Plus les animaux sont petits et plus il est recommandé d'utiliser la contention passive pour respecter tous les enjeux cités précédemment. Cela permet au manipulateur de limiter son exposition aux rayons x (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 9 : Contention passive de furet à l'aide de mousse et de sac de sable



Figure 10 : Contention passive de lapin à l'aide d'un matelas en mousse et de ruban adhésif



Figure 11 : Contention passive de rat à l'aide de ruban adhésif et de compresses



3. Anesthésie des petits mammifères

L'anesthésie est utilisée en routine chez les NAC, notamment l'anesthésie gazeuse. Elle permet de limiter le stress de ces animaux qui sont pour la plupart des proies, et qui sont donc enclin à de très grands stress lors de la manipulation. Elle facilite les gestes techniques à réaliser sur ces animaux et notamment la contention. Néanmoins, l'anesthésie des petits mammifères présente un plus haut risque anesthésique et doit être réalisée dans de bonnes conditions. En effet, l'anesthésie du lapin présenterait huit fois plus de risque que l'anesthésie d'un chien (Brodgelt *et al.*, 2008).

A. Examen pré-anesthésique des petits mammifères

Avant d'anesthésier un animal il est important de s'assurer de sa bonne santé et d'identifier les risques anesthésiques. Un examen clinique général est indispensable comprenant à minima les principaux paramètres physiologiques : la température rectale, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et un poids précis. Les normes de ces paramètres varient en fonction des espèces et sont rappelées dans le Tableau 2. Il est nécessaire de prendre connaissance des antécédents médicaux de l'animal. Pour les petits mammifères en particulier, il est important de se renseigner sur l'environnement de l'animal qui a un fort impact sur leur état de santé. Ces étapes préalables à l'anesthésie doivent se faire en réduisant le stress de l'animal au maximum (Allweiler, 2016).

Tableau 2 : Paramètres physiologiques des espèces étudiées dans cet atlas (Longley, 2008)

Espèce	Poids	Température rectale en degré Celsius (°C)	Fréquence cardiaque (FC) en	Fréquence respiratoire (FR) en
--------	-------	---	-----------------------------	--------------------------------

			battements par minute (bpm)	mouvements par minute mpm
Furet	600g (femelle) – 1200g (mâle)	37,8-40	200 - 400	33-36
Lapin	1-10 kg	38,5 – 40	130-325	30-60
Cochon d'Inde = Cobaye	750-1200 g (mâle plus grand)	37,2-39,5	190-300	90-150
Chinchilla	400-600 g (femelle plus grande)	37-38	100-150	40-80
Rat brun = Surmulot = Rat d'égout (Rat)	225-500g (mâle plus grand)	38	260 - 450	70-150
Souris	25-63g (femelle plus grande)	37,5	500-600	100-250

Comme dans toute espèce animale, il est préférable de stabiliser l'animal avant une anesthésie et de faire une réanimation préalable au besoin. Dans ce cas précis, l'examen radiographique n'est pas une priorité ou il se fera sans anesthésie.

B. Mise à jeun des petits mammifères

La plupart des petits mammifères n'ont pas besoin d'être mis à jeun, ou ont seulement besoin d'une diète restreinte.

a. Mise à jeun du furet

Pour le furet une mise à jeun est requise mais ne doit pas excéder quatre heures. En effet, les furets peuvent vomir mais sont également prédisposés à faire des hypoglycémies. Dans le cas d'insulinome la mise à jeun n'est pas recommandée (Allweiler, 2016).

a. Mise à jeun des rongeurs et lagomorphes

Pour les rongeurs et lagomorphes, la conformation gastrique rend impossible les vomissements ce qui fait que la mise à jeun n'est pas requise. Elle est même non recommandée car elle peut induire chez eux des hypoglycémies due à leur métabolisme très rapide et due à leur faible réserve en glycogène. Chez les petits mammifères herbivores la mise à jeun prédispose au risque d'iléus paralytiques. Il est par contre recommandé de leur nettoyer la bouche, avec une seringue d'eau par exemple, avant ou au début de l'anesthésie pour éviter toute inhalation de nourriture (Flecknell, 2015).

C. Anesthésie injectable des petits mammifères

L'anesthésie injectable se réalise à l'aide de molécules administrables par différentes voies d'injection. Il est propre à chaque clinicien de choisir ses molécules et leur voie d'injection en fonction de l'animal, de son état de santé, de la possibilité de voie d'injection et des molécules à sa disposition. Le principal inconvénient des protocoles injectables est leur durée d'action : ils durent au minimum 20 minutes, ce qui est considéré trop long pour réaliser un simple examen radiographique.

D. Anesthésie gazeuse des petits mammifères

L'anesthésie gazeuse est très utilisée chez les petits mammifères, elle est facile d'utilisation, elle peut être utilisée sur des temps courts et elle permet des réveils rapides et de meilleure qualité. Néanmoins, pour des animaux avec un degré de stress élevé, il est préférable de réaliser une sédation en injectable avant l'induction au gaz car l'inhalation de gaz peut être mal tolérée chez certains animaux, notamment chez les rats et les souris (Cantwell, 2001).

a. Matériel anesthésique

L'utilisation de gaz anesthésique se fait à l'aide d'une machine d'anesthésie, avec un circuit non réinhalatoire et un ballon de taille adapté (un demi litre à un litre). L'isoflurane et le sévoflurane peuvent être utilisés, mais en pratique l'isoflurane est plus utilisé grâce à son induction et ses réveils rapides. Cet agent anesthésique volatil induit une inconscience et une myorelaxation (Goin, 2014).

b. Étapes anesthésiques

- *Pré-oxygénation*

En premier lieu, on place l'animal sous oxygène, à un débit d'un litre par minute.

- *Induction*

L'induction se fait après cinq minutes de pré-oxygénation à l'aide d'un masque facial adapté à la taille de la tête de l'animal (Figure 13). Celui-ci pourra être placé dans une serviette lors de l'induction pour limiter son stress et ses mouvements. Pour les animaux de très petits gabarits (comme la souris) le corps entier pourra être placé dans le masque, ce qui exécutera le rôle de chambre à induction (Figure 12). L'isoflurane est augmenté progressivement, jusqu'à un taux de 2 à 5% (Longley, 2008).

- *Maintien*

Pour l'entretien de l'anesthésie, l'oxygène est maintenu à un débit d'un litre par minute et l'isoflurane peut être diminué à un taux de 1,5 à 2,5%. Dans l'idéal, le pourcentage d'anesthésique volatile utilisé est titré en fonction des signes de narcose de l'animal.

- *Réveil*

L'oxygène est maintenu jusqu'au réveil complet de l'animal. L'alimentation doit être proposée assez rapidement chez les petits mammifères après leur réveil.

Figure 12 : Chambre à induction à l'aide d'un masque de grande taille sur un rat (Quesenberry *et al.*, 2020)

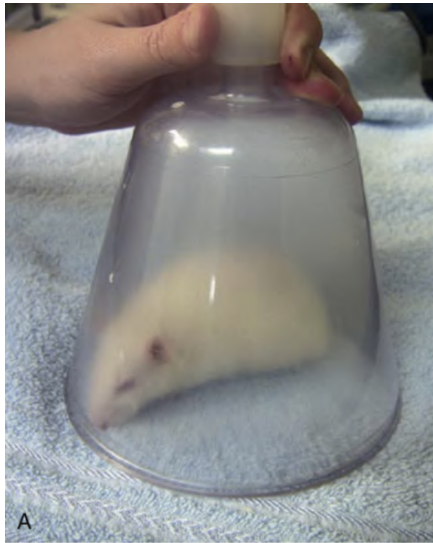


Figure 13 : Masque adapté à la taille d'un rat pour le maintien de l'anesthésie (Quesenberry *et al.*, 2020)



E. Monitoring anesthésique des petits mammifères

Le monitoring anesthésique doit être réalisé par une personne compétente en anesthésie. Il faut regarder l'animal, prendre sa FR et sa FC (avec un stéthoscope), et estimer sa courbe respiratoire. Il faut également évaluer la couleur de ses muqueuses ainsi que son temps de recoloration capillaire. Il est important de suivre la température rectale car les petits mammifères sont sujets aux hypothermies au vu de leur rapport « surface sur volume » élevé et ainsi voir s'il faut mettre en place des mesures de réchauffement (tapis chauffant, petites bouillottes...). Il faut également surveiller le réveil des animaux qui est une étape très importante de l'anesthésie en continuant à monitorer les paramètres cités précédemment jusqu'au réveil complet de l'animal (Longley, 2008).

Il faut prévoir un kit d'intubation d'urgence en cas d'arrêt cardio-respiratoire à cause de l'anesthésie contenant : le matériel pour la pose d'un cathéter, des molécules d'urgence avec des seringues et des aiguilles, le matériel pour l'intubation (sonde trachéale, anesthésique locale, lien) et une feuille avec le poids de l'animal et les volumes à prélever de molécules d'urgence.

F. Risque anesthésique des petits mammifères

Le risque anesthésique est plus élevé chez les petits mammifères que chez le chien et le chat. Selon une étude, le risque de décès lors d'anesthésie est de 1,4% chez le lapin, de 3,8% chez le cochon d'Inde, et varie de 1,7 à 3,7% chez les autres espèces de petits mammifères (Brodbelt *et al.*, 2008 ; Wenger, 2012).

4. Radioprotection

La radioprotection est essentielle pour l'examen radiographique des NAC tout autant que pour l'examen radiographique du chien et du chat. Elle vise à limiter et contrôler l'exposition de l'homme aux radiations ionisantes. Elle est très compliquée à respecter chez les NAC au vu des points cités auparavant (animaux de petite taille et stressés) qu'il faut avoir les doigts protégés et hors du champ. Pour cela, la contention passive est un atout pour la radioprotection. Dans ce cas, le manipulateur n'est pas directement dans le champ et doit se placer derrière un écran de radioprotection. Par

contre, si une contention active est réalisée il faut se protéger et porter : des lunettes plombées, un cache-thyroïde plombé avec un tablier plombé par-dessus, et des gants plombés. Il est également important de porter un dosimètre (Maquet-Luca, 2008 ; Pignon, 2020b).

5. Équipement radiographique

Les machines radiographiques utilisées peuvent être les mêmes que celles utilisées pour les chiens et les chats. Néanmoins, plus la machine utilisée est puissante, plus le temps de pause sera court et plus l'image sera de qualité. La puissance est le produit des kilovoltages (kV) et des milliampères (mA). Les machines sont numériques et s'utilisent avec soit un écran plat, soit un film de phosphore et une cassette de mammographie. Le numérique permet de pouvoir adapter le contraste et la luminosité. Il faut privilégier un écran d'interprétation en parallèle pour pouvoir jouer sur les nuances de gris et permettre une meilleure interprétation (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Ségalat *et al.*, 2012 ; Pignon, 2020b).

6. Constantes radiographiques

Les NAC ont un contraste assez faible dû à leur petite taille. Il faut donc choisir des constantes radiographiques qui augmentent ce contraste. Il faut également choisir un temps d'exposition court pour éviter le flou cinétique dû à leur FR élevée (Tableau 2). Il faut donc choisir des kV faibles (40 à 60) avec un temps de pause court (0,02 secondes ou moins). Il est conseillé de choisir des milliampères (mA) entre cinq et sept et demi. Néanmoins les constantes varient avec les machines utilisées, avec l'épaisseur de l'animal et avec la région anatomique à radiographier (Maquet-Luca, 2008 ; Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Pignon, 2020b).

7. Positionnements radiographiques des petits mammifères

Les règles de positionnement radiographique des petits mammifères sont les mêmes que celles des du chien et du chat. L'image radiographique étant une image en deux dimensions d'un corps en trois dimensions il faut toujours réaliser deux incidences perpendiculaires de la zone anatomique souhaitée. Les enjeux du positionnement des petits mammifères sont d'être le plus précis possible sur des animaux de petite taille, notamment sur la symétrie, pour éviter toute erreur d'interprétation.

Il faut respecter les conventions en vigueur en Imagerie lors de l'affichage radiographique et toujours mettre une lettre radio-opaque :

- Pour les clichés radiographiques du corps :
 - Sur les clichés latéro-latéraux : placer la partie crâniale à gauche et la caudale à droite
 - Sur les clichés dorso-ventraux : placer la droite à gauche et la gauche à droite
- Pour les clichés radiographiques de membre :
 - Sur les clichés médio-latéraux : placer la partie proximale en haut et crâniale à gauche
 - Sur les clichés cranio-caudaux : placer la partie proximale en haut (Maquet-Luca, 2008 ; Pignon, 2020b)

Nous allons voir dans cette partie, les positionnements radiographiques recommandés pour chaque partie du corps des petits mammifères, selon la bibliographie suivante (Silverman et Tell, 2004 ; Delphine, 2008 ; Ségalat *et al.*, 2012 ; Mulherin, 2023). Pour chaque incidence nous détaillerons :

- Le positionnement de l'animal : comment positionner l'animal sur la table radiographique

- Le cadrage : la surface à inclure dans le cliché
- L'évaluation du cliché : les critères radiographiques qui valident les bons positionnement et cadrage du cliché réalisé

Chaque incidence sera accompagnée d'une photographie du positionnement, photographie prise dans le cadre de la thèse.

A. Incidence latéro-latérale : thorax, abdomen et corps entier

L'animal est placé en décubitus latéral. La position standard est le côté droit de l'animal contre la table. En contention active une personne tient la tête et les membres thoraciques. En contention passive des sacs de sable ou des morceaux de ruban adhésif sont placés sur les quatre membres. Les quatre membres doivent être bien tirés pour ne pas se superposer au thorax ou à l'abdomen. Il faut que le sternum et le rachis soit dans le même plan. La queue est maintenue par le manipulateur ou peut être fixée avec du ruban adhésif au besoin. Pour le rat et le furet il faut tenir un pli de peau au niveau du cou pour éviter les morsures en cas de contention active.

a. Incidence latéro-latérale : Thorax

Positionnement

Il est conseillé de réaliser deux images radiographiques latéro-latérales (droite et gauche) comme chez le chien et le chat pour examiner au mieux le champ pulmonaire, notamment à la recherche de métastases pulmonaires. En effet, le poumon qui est contre la table est atelectasié, ce qui permet moins de distinguer des lésions dans celui-ci. Le cou est en extension. Il faut que les membres thoraciques soient en hyper extension pour ne pas se superposer au thorax. Néanmoins cette position doit être maintenue le moins longtemps possible au vu de la gêne respiratoire qu'elle peut causer, notamment chez le lapin.

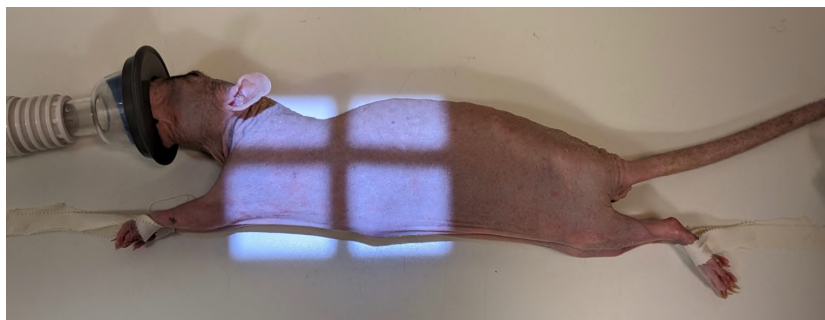
Cadrage

On inclut la partie crâniale de l'épaule et les dernières côtes. Il convient de laisser une ligne lumineuse ventralement et dorsalement (Figure 14).

Évaluation du cliché

Le thorax doit être visible entièrement, de la première côte au diaphragme inclus. Les côtes doivent se superposer à leur base. Les membres thoraciques doivent être dégagés du thorax.

Figure 14 : Position et cadrage latéro-latérale droit de thorax de rat



b. Incidence latéro-latérale : Abdomen

Positionnement

Pour l'abdomen les membres pelviens doivent être tirés pour que les fémurs soient dé-superposés de l'abdomen caudal.

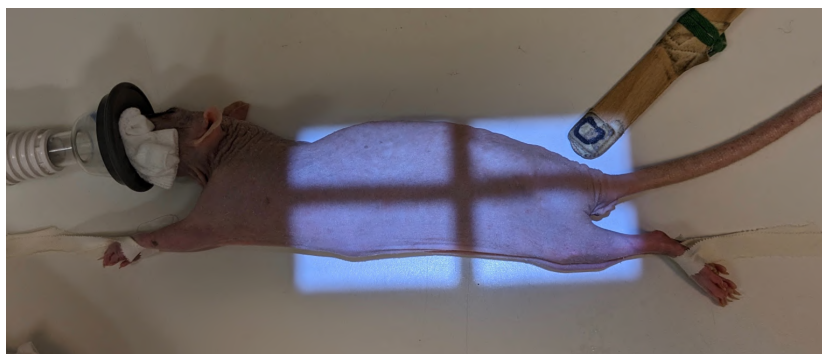
Cadrage

On inclut largement le processus xiphoïde qui remonte très crânialement chez les petits mammifères et notamment chez le lapin. On inclut les tissus mous caudalement et il convient de laisser une ligne lumineuse ventralement et dorsalement (Figure 15).

Évaluation du cliché

Le diaphragme et le bassin doivent être visibles entièrement. Les côtes doivent se superposer à leur base. Les os du bassin doivent se superposer. Il est nécessaire que les membres pelviens soient dégagés de l'abdomen.

Figure 15 : Position et cadrage latéro-latérale droit d'abdomen de rat



c. Incidence latéro-latérale : Corps entier

L'examen radiographique du corps entier est régulièrement utilisé chez les vétérinaires NAC. Il est moins conseillé par les services d'Imageurs car l'image est de moins bonne qualité, le contraste est moins bon et l'image moins précise. Cependant, cela permet d'évaluer facilement et rapidement un animal, surtout quand celui-ci est de petit gabarit.

Positionnement

Les règles sont les mêmes que vue précédemment : les quatre membres sont étendus pour éviter toute superposition.

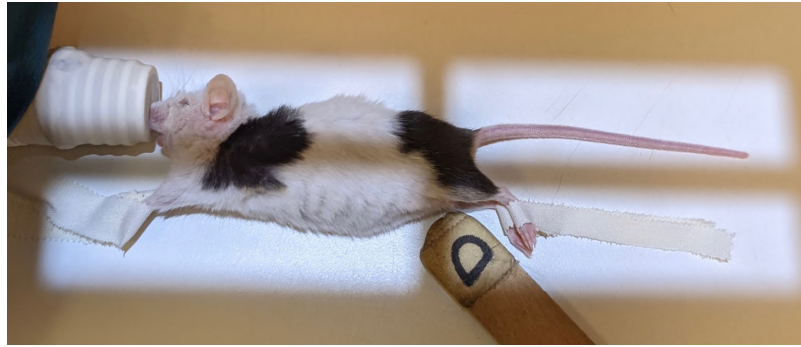
Cadrage

On inclut largement le corps de l'animal dans le cadre (Figure 16).

Évaluation du cliché

On doit voir le corps de l'animal en entier. Les côtes doivent se superposer à leur base. Les os du bassin doivent se superposer. Il est nécessaire que les membres pelviens soient dégagés de l'abdomen et que les membres thoraciques soient dégagés du thorax.

Figure 16 : Position et cadrage latéro-latérale droit de corps entier de souris



B. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : thorax, abdomen et corps entier

Il est conventionnel de placer l'animal en décubitus dorsal mais il est possible de placer l'animal en décubitus ventral au besoin. En contention active, une personne vient tenir les membres thoraciques et la tête et une deuxième personne vient tenir les membres pelviens. En contention passive, des morceaux de ruban adhésif sont posés sur les quatre membres. Il faut que le rachis soit bien droit et dans le même axe que le sternum.

a. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Thorax

Positionnement

Pour l'évaluation du cœur, il est recommandé de réaliser des images radiographiques en position dorso-ventral (décubitus ventral) pour permettre un examen reproductible du cœur, qui se place contre le sternum. Pour l'évaluation pulmonaire il est recommandé de réaliser des images radiographiques en position ventro-dorsale (décubitus dorsal). Pour les deux incidences : le cou doit être en extension et il faut que les membres thoraciques soient en extension pour que les épaules se superposent le moins possible au thorax. Il faut également dégager les oreilles du thorax.

Cadrage

Il faut inclure les épaules et les dernières côtes. Il convient de laisser une ligne lumineuse de chaque côté de l'animal (Figure 17).

Évaluation du cliché

Le thorax doit être visible entièrement, de la première côte au diaphragme inclus. Les deux hémithorax doivent être symétriques. Le rachis et le sternum doivent se superposer. Il est nécessaire que les membres thoraciques soient dégagés du thorax.

b. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Abdomen

Positionnement

L'animal est placé en décubitus dorsal. Les membres pelviens doivent être tirés caudalement pour que les fémurs soient dé-superposés de l'abdomen caudal.

Cadrage

Il est important d'inclure largement le processus xiphoïde qui remonte très crânialement chez les petits mammifères et notamment chez le lapin. On inclut les tissus mous caudalement et il convient de voir une ligne lumineuse latéralement (Figure 18).

Évaluation du cliché

Le diaphragme et le bassin doivent être visibles entièrement. Le rachis et le sternum doivent se superposer.

c. Incidence ventro-dorsale ou dorso-ventrale : Corps entier

Les incidences radiographiques corps entier sont régulièrement utilisées chez les vétérinaires NAC. Elles sont moins appréciées des services d'Imageurs car l'image est de moins bonne qualité, le contraste est moins bon et l'image sera moins précise. Cependant, cela permet d'évaluer facilement et rapidement un animal, surtout quand celui-ci est de petit gabarit.

Positionnement

Les règles sont les mêmes que vue précédemment : les quatre membres sont étendus pour éviter toute superposition.

Cadrage

Il faut inclure largement le corps de l'animal dans le cadre (Figure 19).

Évaluation du cliché

On doit voir le corps de l'animal en entier. Il est nécessaire que les membres pelviens soient dégagés de l'abdomen et que les membres thoraciques soient dégagés du thorax. Le sternum doit être superposé à la colonne vertébrale.

Figure 17 : Position et cadrage ventro-dorsale de thorax de furet

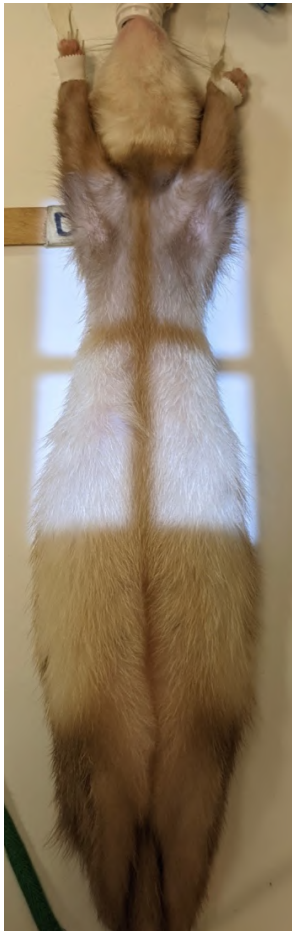


Figure 18 : Position et cadrage ventro-dorsale d'abdomen de furet

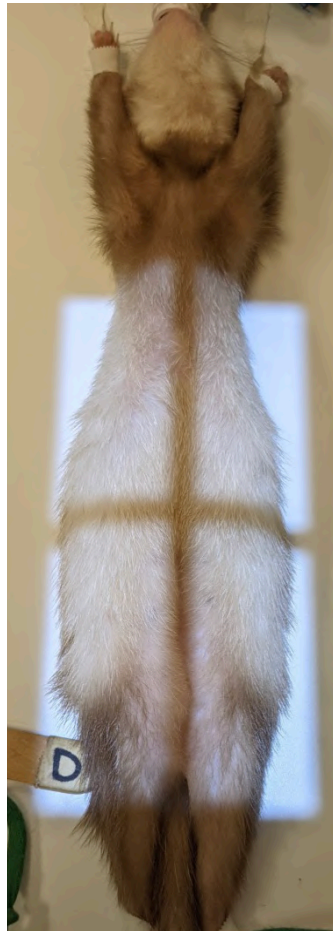


Figure 19 : Position et cadrage ventro-dorsale de corps entier de souris



C. Positionnement radiographique de tête

Les incidences radiographiques de tête permettent d'évaluer les affections dentaires ou les affections des mâchoires. Ce sont des positions qui sont difficiles à obtenir car elles demandent une grande précision de la part du manipulateur. Elles sont plus facilement effectuées sous sédation. Pour une bonne évaluation des dents et de la mâchoire il faut réaliser deux incidences latéro-latérales (une droite et une gauche), une dorso-ventrale et deux incidences obliques (une droite et une gauche) (Tableau 3). Les autres incidences de tête (rostrale, intra-orale...) sont écartées de ce travail pour faciliter la compréhension du propos et de l'outil pédagogique. Au vu de la difficulté de la contention active, seule la contention passive sera présentée ci-dessous.

a. Incidence latéro-latérale : Tête

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. La position standard est le côté droit de l'animal contre la table, mais le plus souvent les deux côtés sont réalisés. La bouche peut être maintenue fermée (Figure 20, plutôt réalisée chez les rongeurs et les lagomorphes) ou peut être maintenue légèrement ouverte avec un pas d'âne (Figure 21, plutôt réalisée chez le furet). Les membres thoraciques sont étendus caudalement. L'incidence latéro-latérale est intéressante pour l'évaluation de l'occlusion des incisives et des dents prémolaires et molaires.

Cadrage

Le faisceau est centré sur les dents molaires et prémolaires. L'ensemble de la tête est inclus, de la base de la tête au bout du nez.

Évaluation du cliché

Les bulles tympaniques, les mandibules et les dents maxillaires doivent se superposer.

Figure 20 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de lapin



Figure 21 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de furet



b. Incidence dorso-ventrale : Tête

Positionnement

L'animal est placé en décubitus sternal pour obtenir une symétrie correcte de la tête, plus difficile à obtenir en décubitus dorsal et qui est moins bien toléré chez certains animaux (le lapin notamment). La tête doit être bien parallèle à la table. La bouche est fermée. Les membres thoraciques sont écartés de la tête et repoussés caudalement (Figure 23) ou maintenus sur les côtés (Figure 22). Au besoin, les oreilles peuvent être maintenues pour ne pas se superposer au crâne.

Cadrage

Le faisceau est centré sur les mâchoires et inclut la base de la tête au bout du nez.

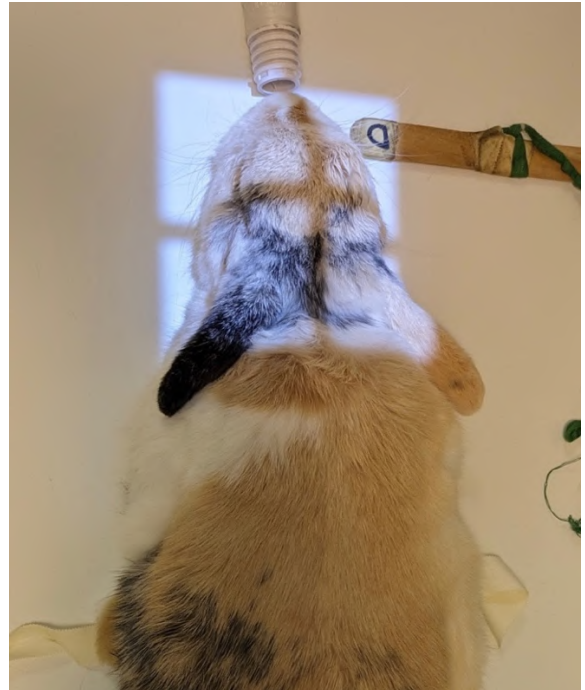
Évaluation du cliché

Les arcades zygomatiques, les mandibules et la cavité nasale doivent être symétriques.

Figure 22 : Position et cadrage dorso-ventrale de tête de furet



Figure 23 : Position et cadrage dorso-ventrale de tête de lapin



c. Incidence oblique : Tête

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral : décubitus latéral droit pour une incidence oblique droite et décubitus latéral gauche pour une incidence oblique gauche. La tête est inclinée avec un angle variable selon les auteurs de 10-20° à 20-40°. Pour obtenir cette inclinaison de la tête il est possible d'utiliser des mousses, notamment celles de formes triangulaires. Ces incidences sont utilisées pour éviter la superposition des dents.

Cadrage

Le cadrage est le même qu'en incidence latéro-latérale : le faisceau est centré sur les dents molaires et prémolaires. L'ensemble de la tête doit être inclus, de la base de la tête au bout du nez (Figure 24 et Figure 25).

Évaluation du cliché

Sur le cliché radiographique : Les bulles tympaniques sont dé-superposées et forment un 8. Les dents mandibulaires sont dé-superposées.

Figure 24 : Position et cadrage oblique droit de tête de lapin

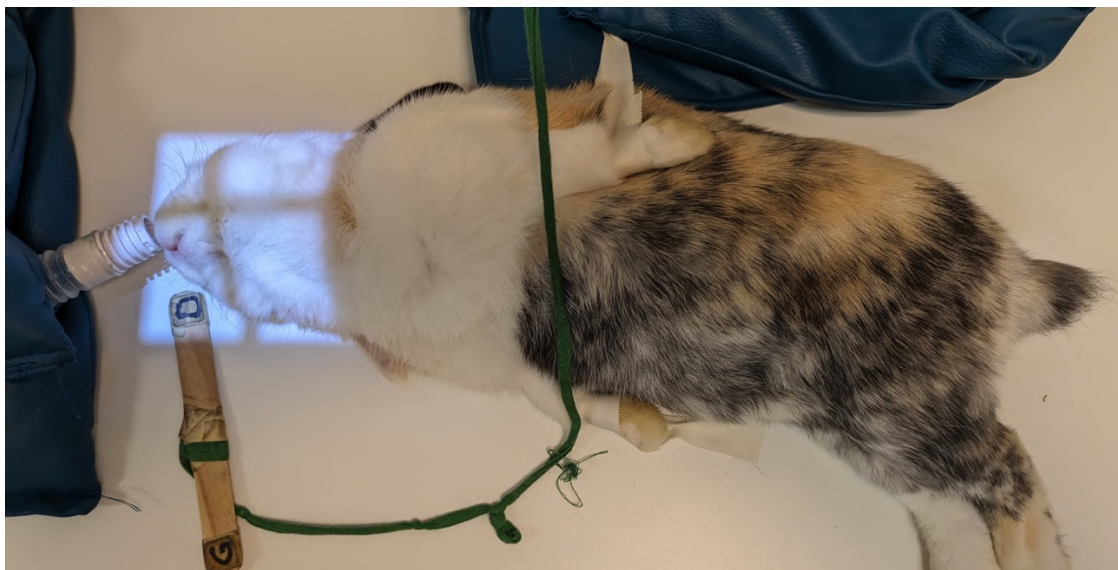


Figure 25 : Position et cadrage oblique droit de tête de furet



Tableau 3 : Tableau récapitulatif des différentes incidences de tête de lapin. La flèche rouge indique l'incidence des rayons. L'étoile rouge indique le nez et les pointillés rouges indiquent le plan de l'os nasal (Mulherin, 2023).

Figure 26 : Position et cadrage latéro-latérale droit de tête de lapin (Mulherin, 2023)

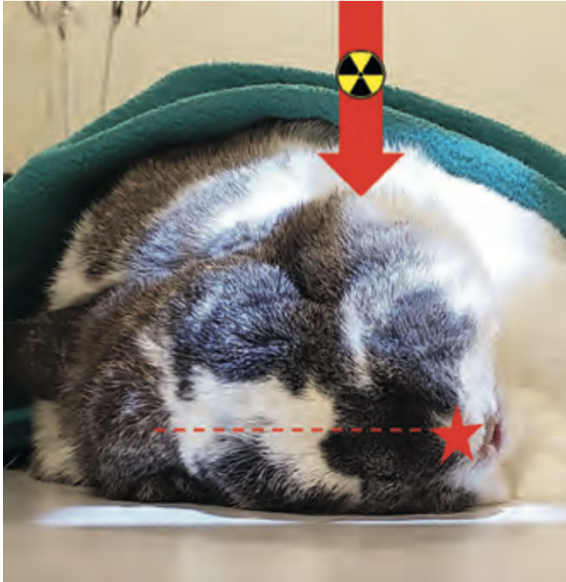


Figure 27 : Position et cadrage ventro-dorsale de tête de lapin (Mulherin, 2023)

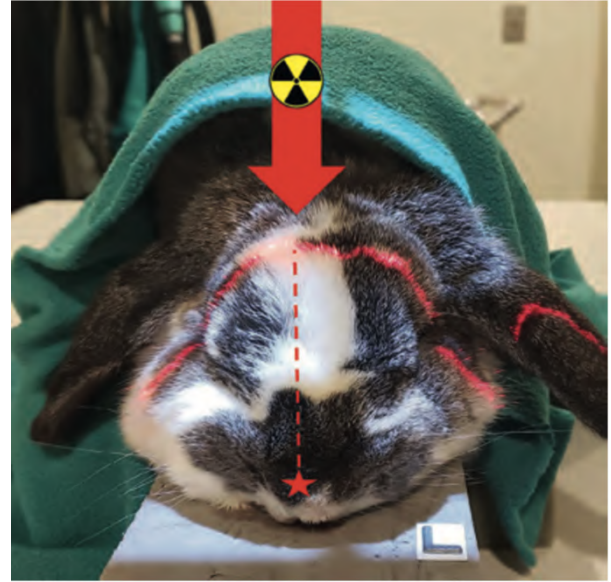


Figure 28 : Position et cadrage oblique droit de tête de lapin (Mulherin, 2023)

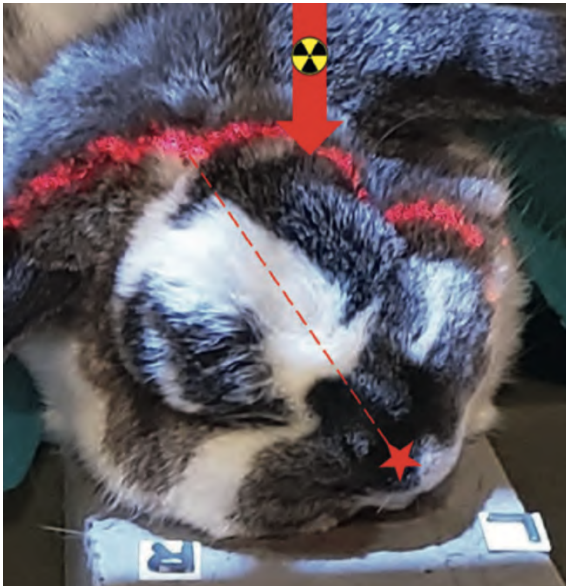
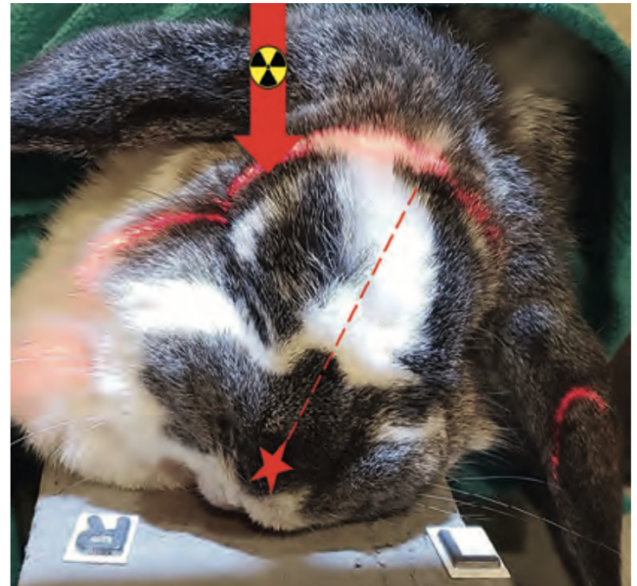


Figure 29 : Position et cadrage oblique gauche de tête de lapin (Mulherin, 2023)



D. Positionnement radiographique du squelette axial

L'imagerie du squelette axial se réalise de la même manière que chez le chien et le chat. Pour certains animaux il est compliqué de réaliser cet examen à cause de leur taille. Pour chaque partie du squelette on réalise une incidence latéro-latérale (par convention la droite) et une incidence ventro-dorsale. Ces incidences sont réalisées à minima sous sédation.

a. Incidence latéro-latérale du squelette axial

L'animal est placé en décubitus latéral.

- *Incidence latéro-latérale : Rachis cervical*

Positionnement

Les membres thoraciques sont tirés caudalement. La tête est placée en extension dans le prolongement du cou : ils doivent être dans le même axe horizontal. La tête et le cou doivent être parfaitement de profil, on s'aide avec les ailes de l'atlas (Figure 30).

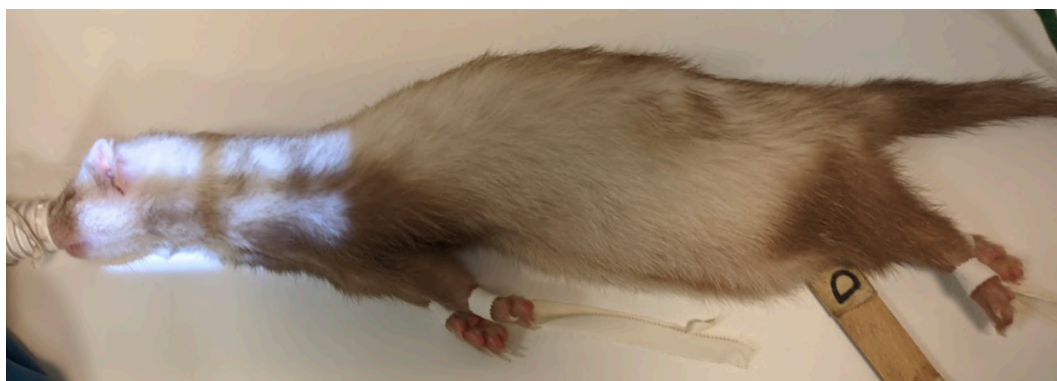
Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur les vertèbres cervicales. La base du crâne et l'épaule doivent être incluses. Pour la limite dorsale on se place deux centimètres au-dessus de l'apophyse épineuse de la première vertèbre cervicale et on inclut la trachée ventralement.

Évaluation du cliché

La base du crâne est incluse. Les ailes de l'atlas et les bulles tympaniques se superposent, ainsi que les processus articulaires et ventraux d'une même vertèbre.

Figure 30 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis cervicale de furet



- *Incidence latéro-latérale : Rachis thoracique*

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral, sans aucune rotation du corps. Les membres thoraciques sont maintenus en extension crânialement. Il faut que l'animal soit parfaitement de profil : vérifier que l'axe qui relie le sternum et le rachis soit bien parallèle à la table.

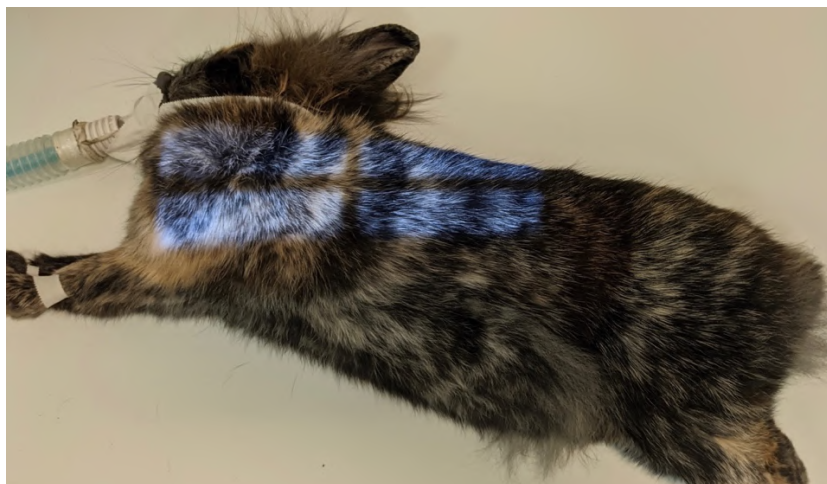
Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis thoracique. On inclut l'épaule et la dernière vertèbre thoracique (en s'aidant de la dernière côte). Le cadrage doit être à la limite de la peau dorsalement à la dernière vertèbre thoracique (Figure 31).

Évaluation du cliché

Les côtes doivent se superposer à leur base. Il convient de voir toutes les vertèbres thoraciques. Les processus transverses d'une même vertèbre se superposent.

Figure 31 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis thoracique de lapin



- *Incidence latéro-latérale : Rachis lombaire*

Positionnement

Il faut que l'animal soit bien de profil. On s'aide de l'axe horizontal entre le sternum et le rachis qui doit être parallèle à la table et des os du bassin qui doivent se superposer. On tire légèrement les membres pelviens caudalement (Figure 32).

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis lombaire. On inclut la dernière vertèbre thoracique et les hanches. Le champ est limité à la colonne vertébrale.

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis lombaire en entier, de la dernière vertèbre thoracique à la première vertèbre sacrée incluses. Les côtes doivent se superposer à leur base. Les os du bassin ainsi que les processus latéraux d'une même vertèbre doivent se superposer.

Figure 32 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis lombaire de chinchilla



- *Incidence latéro-latérale : Rachis caudal*

Positionnement

La queue doit être placée dans l'axe du rachis lombaire. On tire légèrement les membres pelviens caudalement.

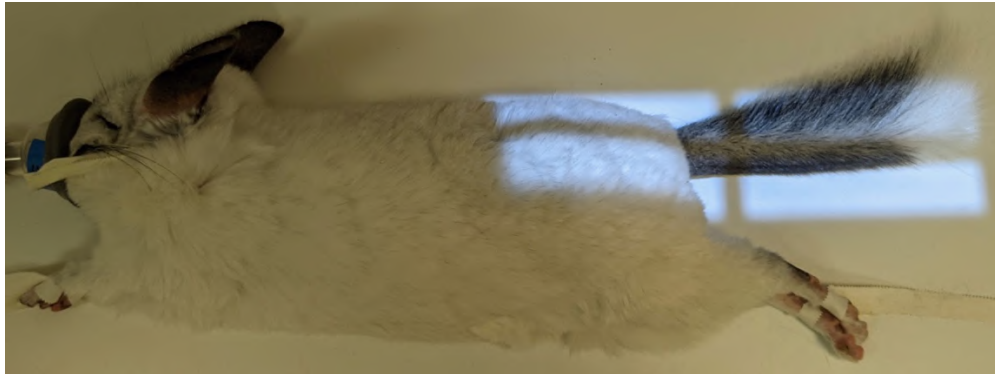
Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis caudal. On inclut le sommet de l'ilium crânialement. Il convient de laisser un faisceau lumineux sur la table (Figure 33).

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis caudal en entier, de la première vertèbre sacrée à la dernière vertèbre caudale. Les processus latéraux d'une même vertèbre se superposent. Les os du bassin doivent se superposer.

Figure 33 : Position et cadrage latéro-latérale droit de rachis caudal de chinchilla



- *Incidence latéro-latérale : Bassin*

Positionnement

Il faut que l'animal soit bien de profil. On s'aide de l'axe horizontal entre le sternum et le rachis qui doit être parallèle à la table et des os du bassin qui doivent se superposer. On tire légèrement les membres pelviens caudalement (Figure 34).

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le bassin. On inclut largement le bord crânial de l'ilium, le bord caudal de l'ischium et le grand trochanter.

Évaluation du cliché

Il convient de voir le bassin en entier. Les os du bassin doivent se superposer. Les processus transverses d'une même vertèbre se superposent.

Figure 34 : Position et cadrage latéro-latérale droit de bassin de cochon d'Inde



b. Incidence ventro-dorsale du squelette axial

L'animal est placé en décubitus dorsal sans aucune rotation du corps.

- *Incidence ventro-dorsale : Rachis cervical*

Positionnement

Les membres thoraciques sont tirés vers l'avant. Il faut également mettre la tête en extension dans l'axe du corps.

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis cervical. On inclut la base du crâne, la première vertèbre thoracique et les ailes de l'atlas (Figure 35).

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis cervical en entier, de la base du crâne à la deuxième vertèbre thoracique. Les processus épineux doivent être au centre des vertèbres. Les processus articulaires d'une même vertèbre sont symétriques.

Figure 35 : Position et cadrage ventro-dorsal de rachis cervical de chinchilla



- *Incidence ventro-dorsale : Rachis thoracique*

Positionnement

Les membres thoraciques sont tirés vers l'avant et la tête est placée en extension dans l'axe du corps. Le rachis et le sternum doivent être dans le même axe.

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis thoracique. On inclut le manubrium sternal et la première lombaire. Le champ est limité à la colonne vertébrale (Figure 36).

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis thoracique en entier, de la dernière vertèbre cervicale à la première vertèbre lombaire. Les processus épineux doivent être au centre des vertèbres. Les processus articulaires d'une même vertèbre doivent être symétriques. Le sternum est superposé à la colonne vertébrale.

- *Incidence ventro-dorsale : Rachis lombaire*

Positionnement

Les membres thoraciques et pelviens sont tirés respectivement crânialement et caudalement. Il est important que le rachis et le sternum soient dans le même axe.

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis lombaire. Il faut inclure la dernière vertèbre thoracique (à l'aide de la dernière côte) et les hanches. Le champ est limité à la colonne vertébrale (Figure 37).

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis lombaire en entier, de la dernière vertèbre thoracique à la première vertèbre sacrée incluses. Les processus épineux doivent être au centre des vertèbres. Les processus articulaires et latéraux d'une même vertèbre doivent être symétriques.

- *Incidence ventro-dorsale : Rachis caudal*

Positionnement

Il faut mettre les membres pelviens en flexion et en abduction pour éviter la superposition avec le rachis. La queue doit être mise dans l'axe du rachis.

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le rachis caudal, et les hanches sont incluses.

Évaluation du cliché

Il convient de voir le rachis caudal en entier, de la première vertèbre sacrée à la dernière vertèbre caudale. Les processus épineux doivent être au centre des vertèbres. Les processus articulaires et latéraux d'une même vertèbre doivent être symétriques, ainsi que les os du bassin.

- *Incidence ventro-dorsale : Bassin*

Positionnement

Il faut tirer les membres pelviens en extension, les genoux légèrement en abduction. Il est important que le rachis et le sternum soient dans le même axe.

Cadrage

Le faisceau lumineux est centré sur le bassin. On inclut la pointe de l'ilium et de l'ischium ainsi que les fémurs (Figure 38).

Évaluation du cliché

Il convient de voir le bassin en entier. Les processus épineux doivent être au centre des vertèbres.

Figure 36 : Position et cadrage ventro-dorsale de rachis thoracique et cervicale de furet



Figure 37 : Position et cadrage ventro-dorsale de rachis lombaire de furet



Figure 38 : Position et cadrage ventro-dorsale de bassin de chinchilla



E. Positionnement radiographique du squelette appendiculaire

L'imagerie des membres se réalise de la même manière que chez le chien et le chat. En fonction de la taille de l'animal il est possible de réaliser des incidences plus ou moins précises du membre. Pour la souris par exemple, il est seulement possible de réaliser des incidences des membres entiers. Pour chaque membre ou chaque partie de membre on réalise une incidence médio-latérale et une incidence cranio-caudale.

a. Membre thoracique

- *Scapula / Épaule*

- Incidence médio-latérale : Scapula / Épaule

Positionnement

On place l'animal en décubitus latéral. Il faut remonter la scapula à radiographier dorsalement au rachis. Il faut que l'humérus et l'ulna soient perpendiculaires. Il est nécessaire de décaler le membre controlatéral caudalement pour éviter les superpositions (Figure 39).

Cadrage

On centre le faisceau lumineux sur la scapula.

Évaluation du cliché

Il faut voir la scapula et l'épaule en entier.

- Incidence cranio-caudale : Scapula / Épaule

Positionnement

On place l'animal en décubitus dorsal. On tire crânialement le membre thoracique à radiographier de sorte que la scapula, l'humérus et le radius soient dans le même axe et que la scapula soit parallèle à la table. On décale la tête vers le côté opposé. On plaque le membre controlatéral contre le corps de l'animal (Figure 40).

Cadrage

On centre le faisceau lumineux sur la scapula.

Évaluation du cliché

Il faut voir la scapula et l'épaule en entier. Il est nécessaire que l'humérus et la scapula soient alignés.

Figure 39 : Position et cadrage médio-latérale droit de scapula et épaule de furet



Figure 40 : Position et cadrage cranio-caudale droit de scapula, épaule et humérus de lapin



- *Humérus*
 - Incidence médio-latérale : Humérus

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre thoracique à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre l'humérus et le radius. Il est nécessaire de tirer le membre controlatéral caudalement (Figure 41).

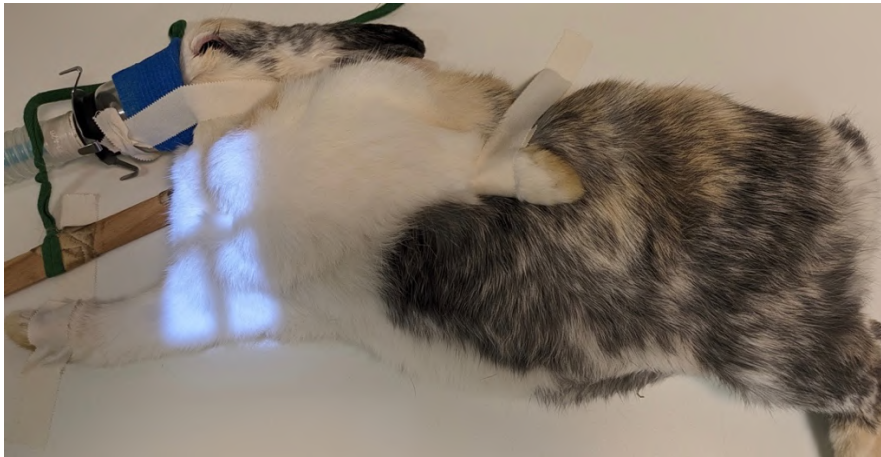
Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le centre de l'humérus. Le coude et l'épaule sont inclus.

Évaluation du cliché

Il faut voir l'humérus ainsi que les articulations du coude et de l'épaule en entier. Les deux parties du condyle huméral doivent se superposer.

Figure 41 : Position et cadrage médio-latéral droit d'humérus de lapin



- Incidence crânio-caudale : Humérus

Positionnement

On place l'animal en décubitus dorsal. On tire crânialement le membre thoracique à radiographier de sorte que la scapula, l'humérus et le radius soit dans le même axe et que la scapula soit parallèle à la table. On décale la tête vers le côté opposé. On plaque le membre controlatéral contre le corps de l'animal (Figure 40).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le centre de l'humérus. Le coude et l'épaule sont inclus.

Évaluation du cliché

Il faut voir l'humérus ainsi que les articulations du coude et de l'épaule en entier. L'olécrâne se superpose au milieu du condyle huméral.

- *Radius / Ulna / Coude*
 - Incidence médio-latérale : Radius / Ulna / Coude

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre thoracique à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre l'humérus et le radius. Le membre controlatéral est tiré caudalement (Figure 42).

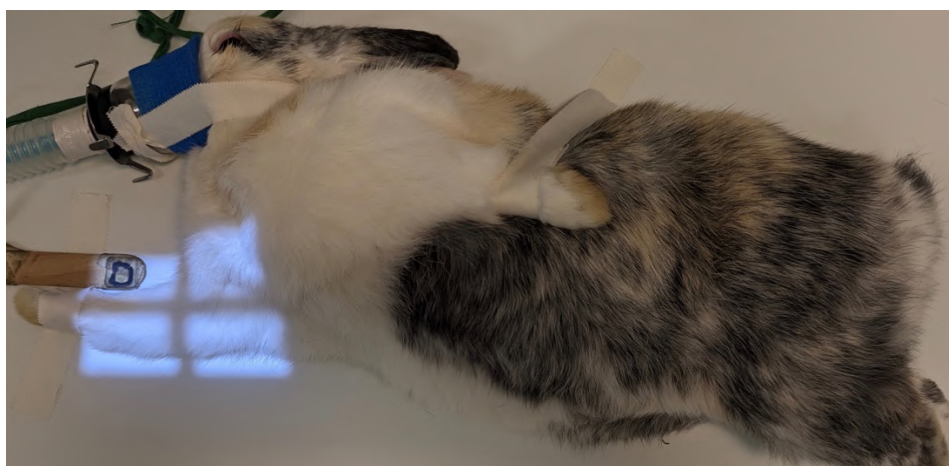
Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le centre du radius et de l'ulna. Le carpe et le coude sont inclus.

Évaluation du cliché

Il faut voir le radius et l'ulna ainsi que les articulations du coude et du carpe en entier. Les deux parties du condyle huméral doivent se superposer.

Figure 42 : Position et cadrage cranio-caudal droit de radius, ulna et coude de lapin



- Incidence cranio-caudale : Radius / Ulna / Coude

Positionnement

L'animal est placé en décubitus sternal. Le membre thoracique à radiographier est tiré crânialement et la scapula, l'humérus, le radius et la main sont placés dans le même axe. Les membres pelviens sont tournés vers le côté opposé. La tête et le membre controlatéral sont également tournés du côté opposé (Figure 43).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le centre du radius et de l'ulna. Le carpe et le coude sont inclus.

Évaluation du cliché

Il convient de voir le radius et l'ulna ainsi que les articulations du coude et du carpe en entier. L'olécrâne se superpose au milieu du condyle huméral.

Figure 43 : Position et cadrage médio-latérale droit de radius, ulna et coude de lapin



- *Main / Doigts*
 - Incidence médio-latérale : Main / Doigts

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre thoracique à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre l'humérus et le radius. Le membre controlatéral est tiré caudalement.

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur la main. On inclut l'articulation du carpe et le tiers caudal du radius.

Évaluation du cliché

Il convient de voir la main ainsi que l'articulation du carpe en entier. Les métacarpiens se superposent.

- Incidence cranio-caudale : Main / Doigts

Positionnement

L'animal est placé en décubitus sternal. Le membre thoracique à radiographier est tiré crânialement et la scapula, l'humérus, le radius et la main sont placés dans le même axe. Les membres pelviens sont tournés vers le côté opposé. La tête et le membre controlatéral sont également tournés du côté opposé.

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur la main. On inclut l'articulation du carpe et le tiers caudal du radius.

Évaluation du cliché

Il convient voir la main ainsi que l'articulation du carpe en entier. Les métacarpiens doivent être visibles individuellement.

b. Membre pelvien

- *Fémur / Genou*

- Incidence médio-latérale : Fémur / Genou

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre le fémur et le tibia. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction (Figure 44).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le fémur. On inclut l'articulation de la hanche et celle du genou.

Évaluation du cliché

Le fémur ainsi que l'articulation de la hanche et du genou sont vus en entier. Les condyles fémoraux se superposent.

- Incidence crano-caudale : Fémur / Genou

Positionnement

L'animal est placé en décubitus dorsal. Le membre à radiographier est étendu caudalement et le tibia, le fémur et la hanche doivent être dans un même axe. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction (Figure 45).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le fémur. Il est nécessaire d'inclure l'articulation de la hanche et celle du genou.

Évaluation du cliché

Le fémur ainsi que l'articulation de la hanche et du genou sont vus en entier. La patella se superpose au milieu des deux condyles fémoraux.

Figure 44 : Position et cadrage médio-latéral droit de fémur de lapin



Figure 45 : Position et cadrage cranio-caudal droit de fémur de lapin



- *Tibia*
 - Incidence médio-latérale : Tibia

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre le fémur et le tibia. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction (Figure 46).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le tibia. L'articulation du genou et du tarse sont incluses.

Évaluation du cliché

Le tibia ainsi que l'articulation du genou et du tarse sont vus en entier. Les condyles fémoraux se superposent.

- Incidence cranio-caudale : Tibia

Positionnement

L'animal est placé en décubitus dorsal. Le membre à radiographier est étendu caudalement et le tibia, le fémur et la hanche doivent être dans un même axe. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction (Figure 47).

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le tibia. L'articulation du genou et du tarse sont incluses.

Évaluation du cliché

Le tibia ainsi que l'articulation du genou et du tarse sont vus en entier. La patella se superpose au milieu des deux condyles fémoraux.

Figure 46 : Position et cadrage médio-latéral droit de tibia de lapin



Figure 47 : Position et cadrage cranio-caudal droit de tibia et pied de lapin



- *Tarse / Pied / Doigts*
 - Incidence médio-latérale : Tarse / Pied / Doigts

Positionnement

L'animal est placé en décubitus latéral. Le membre à radiographier est placé contre la table et il faut réaliser un angle droit entre le fémur et le tibia. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction.

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le pied. Il est nécessaire d'inclure l'articulation du tarse et le tiers caudal du tibia.

Évaluation du cliché

Le pied ainsi que l'articulation du tarse sont vus en entier. Les métatarsiens se superposent.

- Incidence cranio-caudale : Tarse / Pied / Doigts

Positionnement

L'animal est placé en décubitus dorsal. Le membre à radiographier est étendu caudalement et le tibia, le fémur et la hanche doivent être dans un même axe. Le membre controlatéral est placé en flexion et en abduction.

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le pied. Il est nécessaire d'inclure l'articulation du tarse et le tiers caudal du tibia.

Évaluation du cliché

Le pied ainsi que l'articulation du tarse sont vus en entier. Les métatarsiens doivent être visibles individuellement.

8. Radio-anatomie des petits mammifères

Cette partie présente l'anatomie radiographique normale des petits mammifères. Elle s'appuiera sur des comparaisons avec la radio-anatomie du chien et du chat et des espèces de petits mammifères entre elles.

On rappelle que l'interprétation radiographique se fait en comparant les différentes opacités radiographiques. Elles sont au nombre de cinq et sont classées par opacité croissante avec des degrés de noircissement différents : l'opacité métallique (qui est la plus blanche), l'opacité osseuse, l'opacité tissulaire, l'opacité grasseuse et l'opacité aérique (qui est la plus noire).

A. Radio-anatomie du thorax des petits mammifères

Pour l'examen radiographique du thorax, il est conseillé de prendre les clichés en fin d'inspiration pour avoir un bon contraste. Cependant, au vu de la FR élevée de certains petits mammifères (Tableau 2) il peut être compliqué, voire impossible de respecter cette condition. Le thorax de furet est assez long, l'examen est donc plus facilement interprétable que ceux des autres petits mammifères où le thorax est court. La radio-anatomie du thorax va être présentée par organes, et, pour chaque organe, par espèces.

a. Radio-anatomie de la trachée

La trachée est visible sur les clichés radiographiques de thorax latéro-latéraux grâce à l'air qu'elle contient. Elle a une structure tubulaire. Sur les incidences ventro-dorsales, elle n'est généralement pas visible sauf en cas de déplacement latéral.

- *Trachée : furet*

Chez le furet, la trachée est parallèle à la colonne vertébrale et se divise au niveau du 6^e EIC, au milieu de la base du cœur (Figure 48 et Figure 49). Elle possède des anneaux calcifiés qui sont visibles à l'examen radiographique (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Scheidecker, 2012 ; Ségalat, 2012).

Figure 48 : Schéma de l'anatomie latérale thoracique du furet (Lebas, 2008)

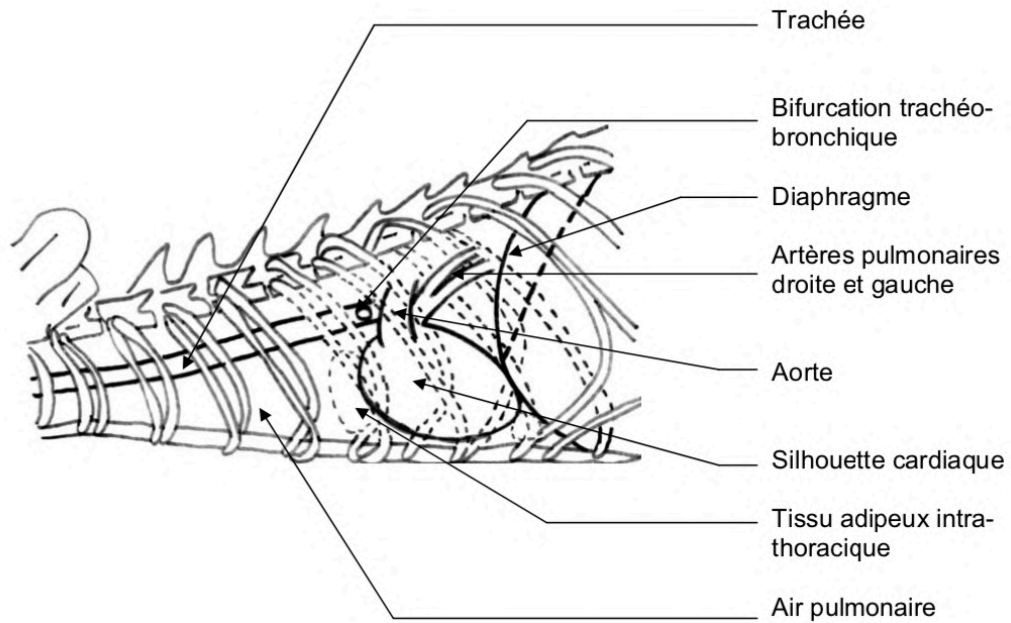
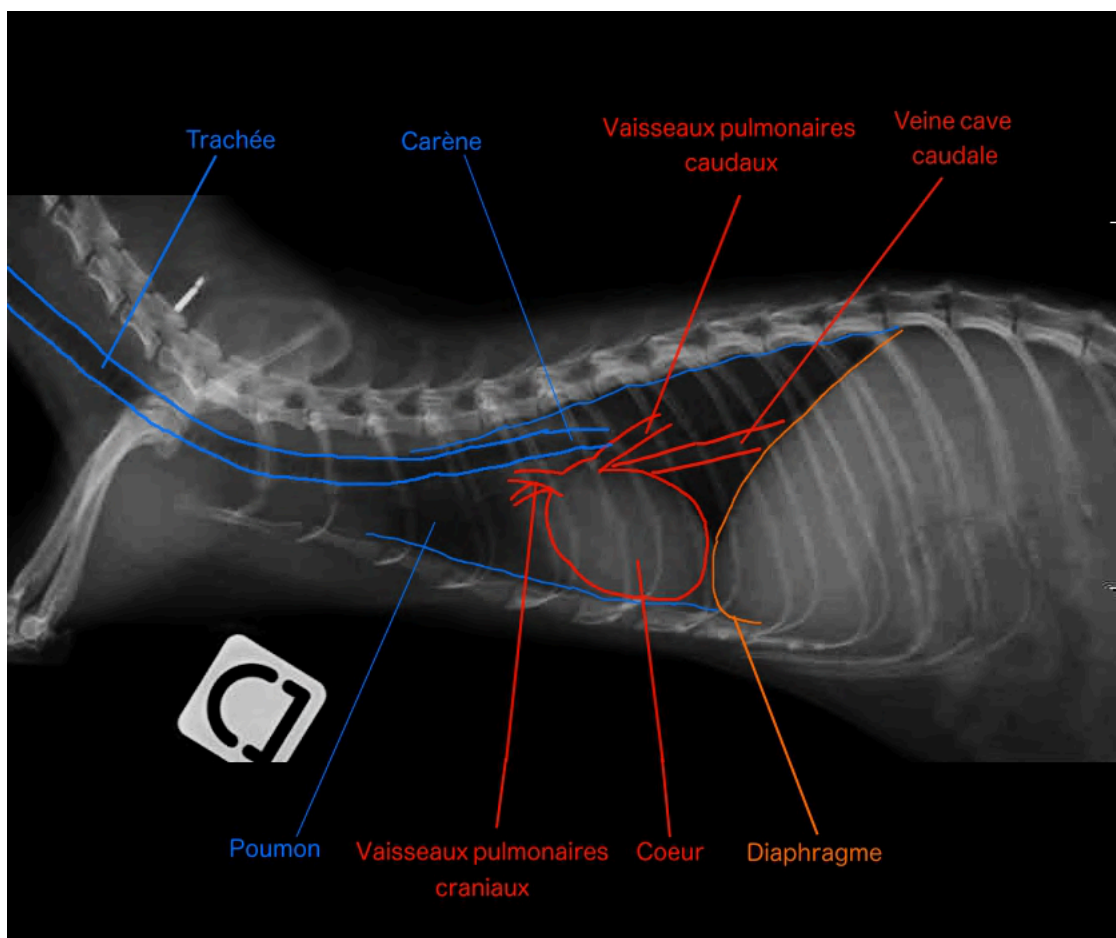


Figure 49 : Cliché radiographique latéro-latéral droit légendé de thorax de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



- *Trachée : rongeurs et lagomorphes*

Chez le lapin, la bifurcation trachéo-bronchique se situe au niveau du 4^e ou 5^e espace intercostal (EIC) et la trachée n'est pas parallèle à la colonne vertébrale. Chez les rongeurs, la trachée suit le

même trajet mais se divise au niveau du 3^e espace intercostal chez les myomorphes et à la 4^e côte chez les hystricomorphes (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Scheidecker, 2012 ; Ségalat, 2012).

b. Radio-anatomie du médiastin

Le médiastin est l'espace médian entre les poumons. Il comprend le thymus, l'œsophage et le cœur. Ce dernier sera traité dans une autre sous partie.

- *Thymus*

Le thymus est un organe lymphoïde qui se situe à l'entrée de la cage thoracique dans le médiastin crânial. Il se situe ventralement et crânialement au cœur. Chez le furet, la taille du thymus varie en fonction de l'âge. Il involue avec l'âge adulte et est progressivement remplacé par de la graisse. Une particularité commune des petits mammifères est de conserver le thymus à l'âge adulte. Ce n'est que chez le cochon d'Inde que l'invololution est tardive et donc un remplacement presque complet du thymus par de la graisse avec l'âge de l'animal. Au vu de sa position et de son opacité graisseuse à tissulaire il rend les contours cardiaques flous chez les petits mammifères (Figure 50 ; Figure 51 ; Figure 52). Ses contours ne sont pas distinguables (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Ségalat, 2012).

Figure 50 : Anatomie viscérale latérale du thorax de lapin. On observe la présence de graisse au niveau anatomique du thymus, crânialement au cœur (Turner Giannico *et al.*, 2015)

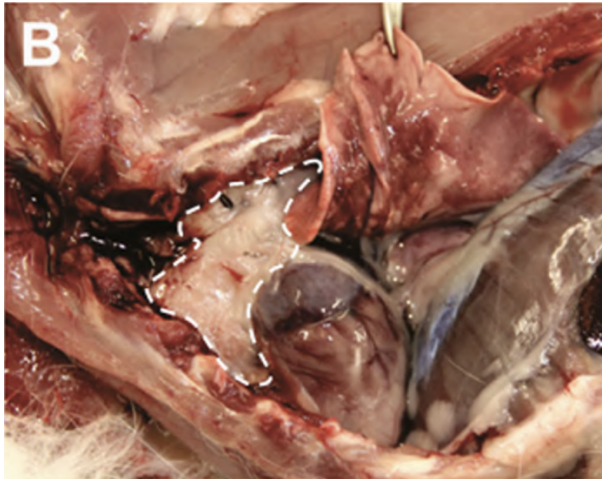
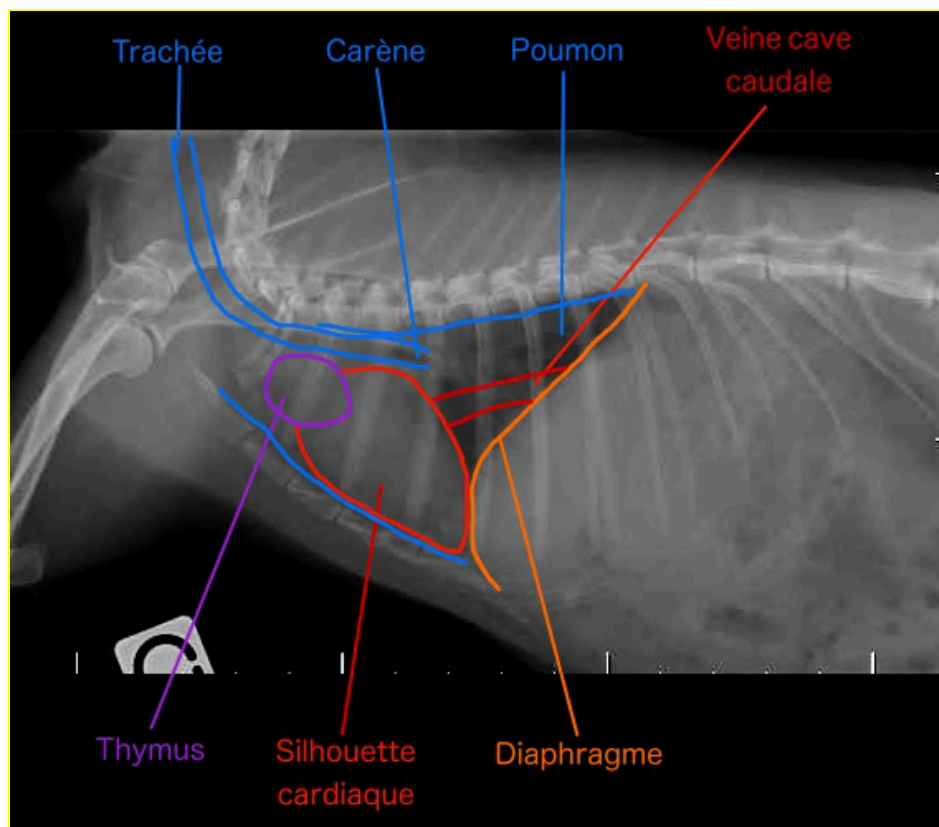


Figure 51 : Anatomie viscérale ventrale du thorax de lapin (Turner Giannico *et al.*, 2015)



Figure 52 : Cliché radiographique latéro-latéral droit légendé de thorax de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



- Œsophage

L'œsophage n'est usuellement pas visible car il est entouré de tissu ayant la même densité. La partie caudale de l'œsophage est parfois observable chez les animaux maigres. Sa portion caudale se

situé en région dorsale et caudale du thorax, au-dessus de la veine cave caudale (Figure 54). Sinon, il peut être rendu visible à l'aide de produits de contraste ou à l'aide d'une sonde œsophagienne, il sera vu dorsal à la trachée (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Ségalat, 2012).

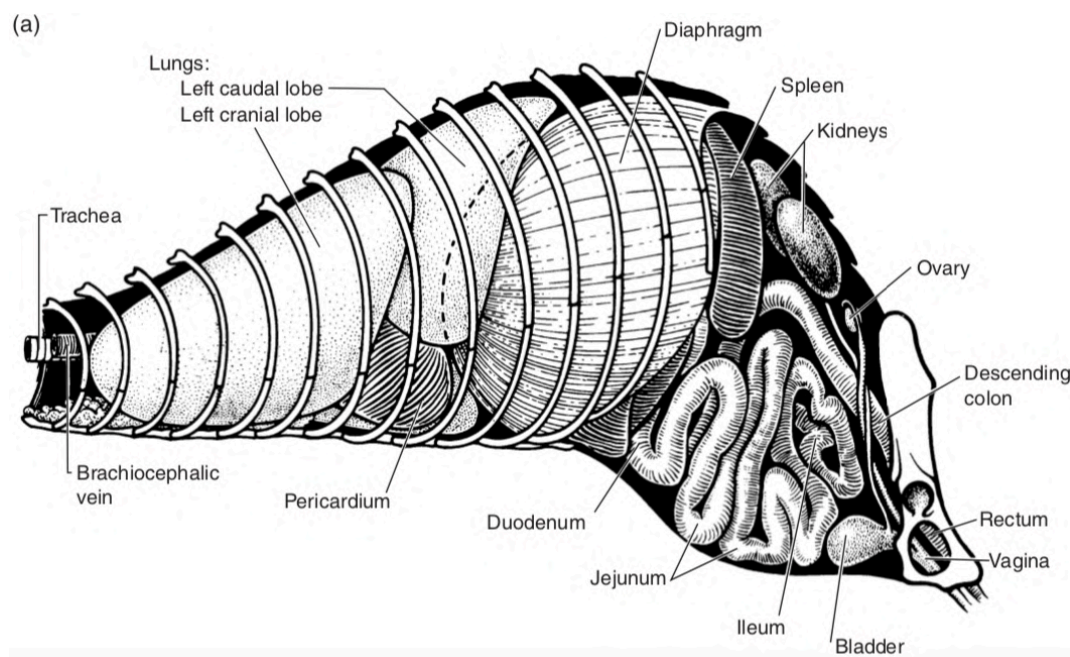
c. Radio-anatomie des poumons

Les poumons des petits mammifères ont des particularités différentes : les poumons ont un nombre de lobes différents, des tailles différentes et des scissures plus ou moins profondes. Ces particularités sont résumées dans le Tableau 4.

- *Poumons : furet*

Les poumons sont assez bien visibles chez le furet qui a une cage thoracique longue et un champ pulmonaire étendu : les poumons s'étendent du 1^{er} ou 2^e EIC au 10^e ou 11^e EIC (Figure 53). Sa FR étant relativement basse (33 à 36 bpm) il est possible de prendre le cliché en inspiration. De plus, le thymus s'involuant chez cette espèce, les lobes pulmonaires crâniens sont bien visibles. Sur un cliché de bonne qualité il est possible d'observer le départ des bronches gauche et droite. De même, il est possible d'observer la triade « artère, bronche, veine », l'artère étant latérale et dorsale à la veine.

Figure 53 : Dessin de l'anatomie latérale des viscères thoraciques et abdominaux de furet (O'Malley, 2005)



- *Poumons : rongeurs et lagomorphes*

Chez les autres espèces, l'interprétation du champ pulmonaire est plus compliquée : le volume pulmonaire est réduit car la cage thoracique est de petite taille et il est moins aisé d'avoir des images en inspiration (FR pouvant aller jusqu'à 250 bpm chez la souris). Enfin, le thymus et le cœur se superposent au champ pulmonaire crânial et moyen sur les deux incidences ce qui laisse seulement les lobes pulmonaires caudaux visibles (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Robert, 2022).

Tableau 4 : Particularités des poumons des petits mammifères (Robert, 2022)

Espèce	Généralités	Poumon droit	Poumon gauche
--------	-------------	--------------	---------------

Furet	Les poumons s'étendent du 1 ^{er} ou 2 ^e EIC au 10 ou 11 ^e EIC	Quatre lobes : crânial, moyen, caudal et accessoire	Deux lobes : crânial et caudal
Lapin / Chinchilla	Volume pulmonaire restreint Poumon droit plus gros que le gauche	Quatre lobes : crânial, moyen, caudal et accessoire	Deux lobes : crânial et caudal
Cochon d'Inde	Poumons scissures très profondes	Quatre lobes : crânial, moyen, caudal et accessoire	Trois lobes : crânial, moyen et caudal
Rat / Souris	Poumon droit plus gros que le gauche	Quatre lobes : crânial, moyen, caudal et accessoire	Lobe unique

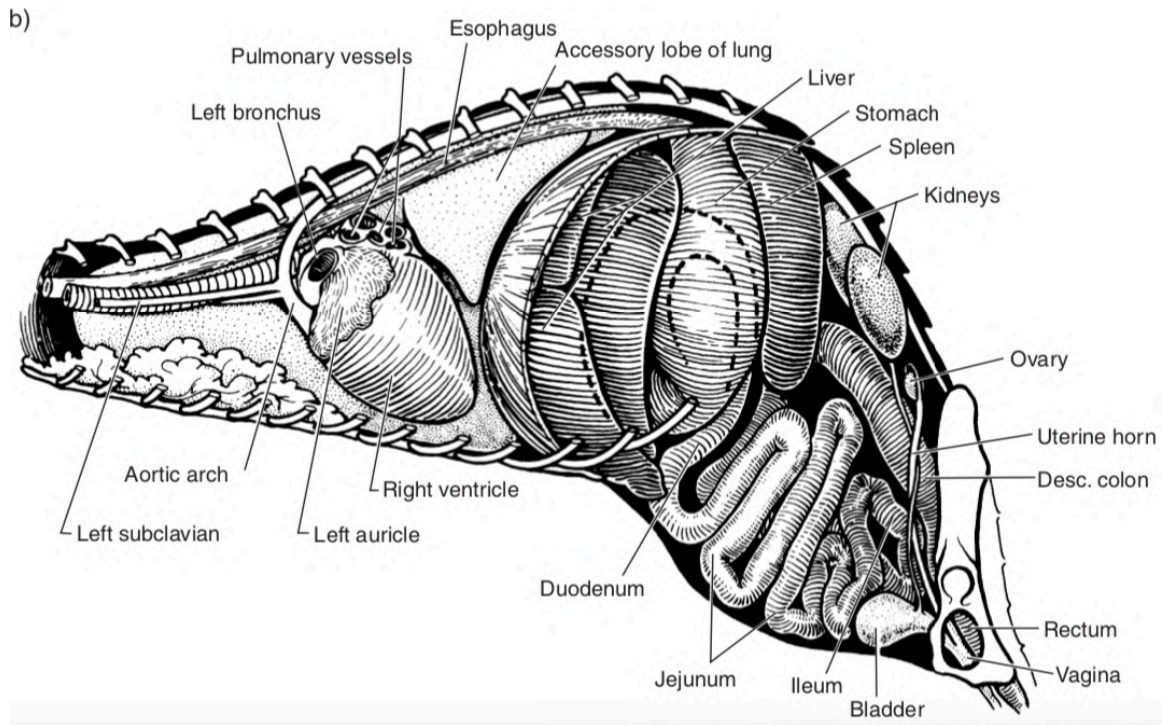
d. Radio-anatomie du cœur

Comme chez le chien et le chat, seule la silhouette cardiaque est évaluable à l'examen radiographique. On utilisera ici le mot « cœur » pour parler de la silhouette cardiaque. Une bonne qualité radiographique est requise pour son évaluation.

- ***Cœur : Furet***

Chez le furet, le cœur a une position relativement caudale dans le thorax : il se situe entre la 6^e et la 8^e côte sur l'incidence latéro-latérale. Sur l'incidence dorso-ventrale, le bord caudal se situe au niveau de la 10^e côte. Le cœur est de forme globuleuse et son apex est dirigé ventro-caudalement sur une incidence latéro-latérale (Figure 48 et Figure 54). Le ligament phréno-péricardique se situe à l'apex du cœur, il joint le sternum au cœur et est rempli de graisse. Il apparaît d'opacité graisseuse et déplace le cœur dorsalement au sternum. Normalement, seul le ventricule droit est légèrement en contact avec le sternum. Il est possible de distinguer la veine cave caudale dans la région moyenne et caudale du thorax (Quesenberry *et al.*, 2020).

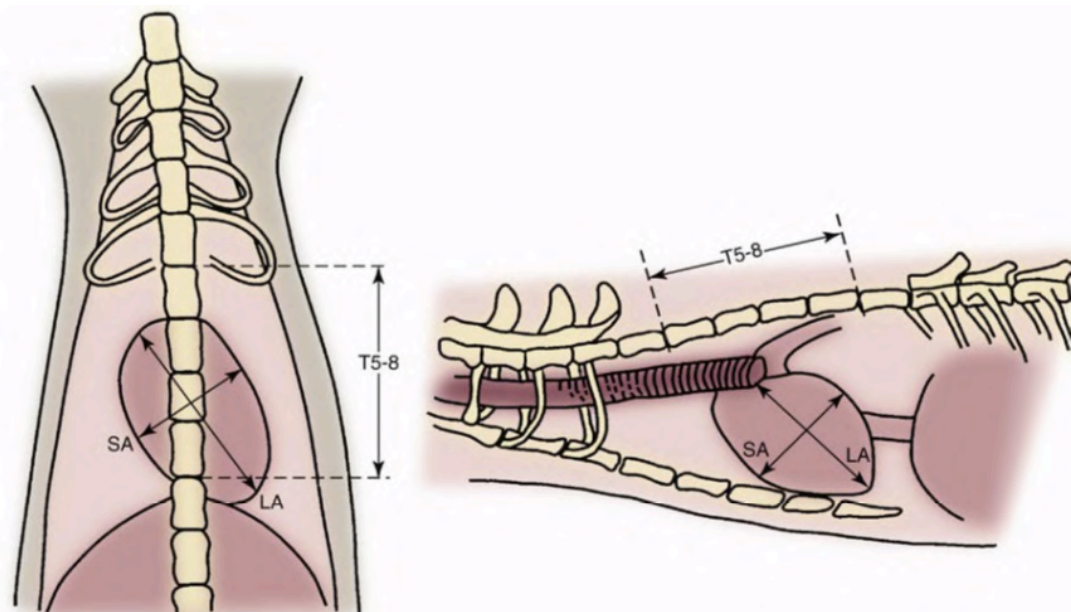
Figure 54 : Dessin de l'anatomie latérale des viscères thoraciques et abdominaux de furet sans le poumon gauche (O'Malley, 2005)



Il est intéressant d'aller évaluer la taille du cœur chez le furet, qui est prédisposé aux myocardopathies dilatées (CMD), et dont la seule évaluation de l'aspect du cœur ne suffira pas (le cœur a un aspect globuleux physiologiquement chez le furet). Pour évaluer la taille du cœur on utilise la méthode *Vertebral heart score (VHS)*, qui compare la longueur et la largeur du cœur à des unités de vertèbres. Le principe de la méthode est le même que celui du chien et du chat, mais les mesures sont différentes du fait de la conformation du thorax de furet.

On utilise plus simplement l'incidence latéro-latérale pour ces mesures, car la silhouette cardiaque est plus facilement distinguable. On mesure la hauteur du cœur, du bord ventral de la bifurcation trachéale, à l'apex du cœur. On mesure ensuite la largeur maximale du cœur. On additionne ses valeurs et on compare la somme aux vertèbres thoraciques (T) cinq à huit (Figure 55). La technique est la même sur l'incidence ventro-dorsale, mais les mesures sont moins facilement reproductibles à cause des superpositions de l'apex du cœur avec le diaphragme et le ligament phréno-péricardique (Stepien *et al.*, 1999 ; Quesenberry *et al.*, 2020). Dans l'étude la plus récente le VHS de furets sains mesuré était de 5,27 (nombre de vertèbres en partant de la 6^e vertèbre thoracique) (Tableau 5).

Figure 55 : Schémas dorsal et latéral de thorax de furet avec les mesures de la silhouette cardiaque. SA = largeur (short axis) et LA = longueur (long axis). La somme des deux mesures est comparée à la longueur entre les vertèbres T5 et T8 (Quesenberry *et al.*, 2020).



Pour compléter cet examen il est recommandé de réaliser un examen échocardiographique.

- *Cœur : Rongeurs et lagomorphes*

Chez les rongeurs et lagomorphes, le cœur est assez large et crânial. Il apparaît assez gros en comparaison avec la taille du thorax, en particulier chez le lapin. Les contours du cœur peuvent être difficiles à évaluer, surtout à la base du cœur, de par la présence du thymus et de graisse intra-thoracique (voir partie Thymus).

Chez le lapin, le cœur est situé entre la 3^e et la 6^e côte, il occupe la majorité du thorax sur la vue dorso-ventrale et s'étend de deux et demi à trois EIC sur l'incidence latéro-latérale. Sur cette dernière, on ne peut distinguer la veine cave crâniale mais on peut deviner la veine cave caudale et l'aorte (au moins la base de l'aorte) qui sont plus radio-opaques (Ségalat, 2012). Chez les rongeurs, il sera difficile d'obtenir une image d'assez bonne qualité permettant d'évaluer correctement le cœur.

Il est possible d'utiliser la méthode présentée plus haut chez le furet (voir partie Cœur : Furet) pour le lapin, le cochon d'Inde, le rat et le chinchilla. Cette méthode est moins fiable que chez les carnivores au vu des limites indiquées plus haut (silhouette cardiaque plus difficile à évaluer, présence de graisse et du thymus), mais reste intéressante à utiliser. Les résultats sont donnés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : VHS obtenus dans différentes études chez les espèces étudiées dans ce travail

Espèce	VHS	Références
Furet	5,33 (5,23-5,47) (VHS)	(Stepien <i>et al.</i> , 1999)
	5,27 (4,3-6,4) (T6 VHS)	(Onuma <i>et al.</i> , 2009)
Lapin	7,55 +/- 0,38 (<1,6kg)	(Onuma <i>et al.</i> , 2010)
	7,99 +/- 0,58 (>1,6kg)	
	7,60 +/- 0,39 (NZW)	(Turner Giannico <i>et al.</i> , 2015)
Cochon d'Inde	7.80 ± 0.12	(Masoudifard <i>et al.</i> , 2021) → utilisation de trois méthodes différentes dans l'étude qui donnent des résultats légèrement différents.
	7.80 ± 0.16	
	7.60 ± 0.15	
Chinchilla	8,9 +/- 0,62	(Doss <i>et al.</i> , 2017)
Rat	7.7 (7.0–8.5)	(Dias <i>et al.</i> , 2021)

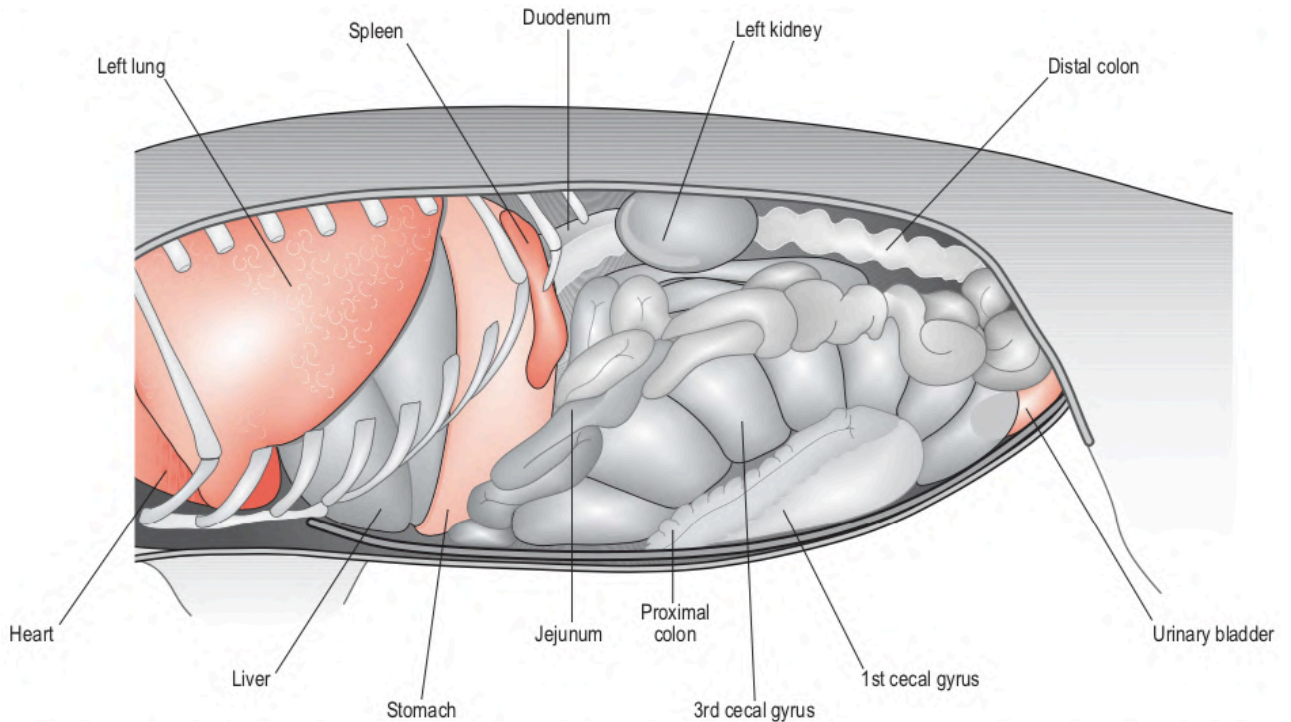
B. Radio-anatomie de l'abdomen des petits mammifères

Pour l'examen radiographique de l'abdomen, on va chercher à avoir une image en expiration. Les organes de l'abdomen ont tous la même radio-opacité tissulaire. Cependant, ils pourront être distinguables grâce à la graisse intra-abdominale qui se glisse entre les organes et qui est de plus faible radio-opacité. A cause de l'absence de cette graisse intra-abdominale chez les animaux maigres ou chez les jeunes, leur contraste abdominal sera mauvais. Chez les animaux obèses (ce qui est le cas de beaucoup de NAC, particulièrement les lapins), il sera plus aisé de distinguer les organes, par contre, ceux-ci seront repoussés crânialement dans l'abdomen. Chez le furet, la graisse est sous cutanée et non intra-abdominale, on aura donc un contraste abdominal moins bon que chez les autres petits mammifères. Chez les herbivores, et notamment chez le lapin, la cavité thoracique étant de petite taille, la cavité abdominale remonte assez crânialement. Chez le lapin, le tissu adipeux sous lombaire peut être assez volumineux et peut repousser les organes abdominaux ventralement et crânialement. Par ailleurs, les petits mammifères ont des particularités digestives qui sont rapportées par espèce dans le Tableau 6 (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010). On abordera la radio-anatomie de l'abdomen en présentant en premier l'appareil digestif, puis les organes extra-digestifs, ensuite l'appareil urinaire et enfin l'appareil reproducteur.

a. Radio-anatomie de l'appareil digestif

L'appareil digestif du furet est similaire à celui des autres carnivores domestiques (Figure 54). Il est assez homogène et présente peu de gaz. L'appareil digestif des herbivores, dû à leur mode de consommation, occupe beaucoup de place dans l'abdomen. Le caecum, l'organe de fermentation, occupe jusqu'à un tiers de l'espace dans l'abdomen de certains animaux (Figure 56). Du gaz est présent dans tout le tube digestif et particulièrement dans le caecum (O'Malley, 2005 ; Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010). On présentera l'estomac, l'intestin grêle, le caecum puis le colon.

Figure 56 : Schéma latéral des viscères abdominaux du lapin (O'Malley, 2005)



- *Estomac*

- Estomac : Furet

L'estomac du furet est similaire à celui du chien et du chat. Il se situe en région abdominale crâniale gauche juste derrière le foie et le diaphragme. Le pylore s'étend juste au-dessus de la ligne médiane (Figure 54). Son opacité et sa taille dépendent de son contenu. Sur l'incidence latéro-latérale il est incliné de 45° et sur l'incidence ventro-dorsale il prend la forme de la lettre « J » (Lebas, 2008 ; Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- Estomac : Lapin

L'estomac du lapin occupe plus de place que chez le furet : il s'étend au-delà de la ligne médiane de l'abdomen et le pylore touche presque la paroi abdominale droite. Il ne doit cependant pas occuper plus d'un à deux tiers de la hauteur de la cavité abdominale et ne doit pas toucher la paroi ventrale. La présence de gaz dans l'estomac de lapin est normale (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- Estomac : Rongeurs

Comme chez le furet, l'estomac se situe en région abdominale intra-thoracique gauche, et le pylore s'étend juste au-dessus de la ligne médiane (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- *Intestin grêle (Lebas, 2008 ; Krautwald-Junghanns et al., 2010 ; Ségalat et al., 2012)*

L'intestin grêle est difficilement visualisable à l'examen radiographique.

- Intestin grêle : Furet

Chez le furet, l'intestin grêle est visible dans le quadrant abdominal ventral, environ les deux tiers dans l'abdomen droit et un tiers dans l'abdomen gauche, caudalement à l'estomac (Figure 57).

□ Intestin grêle : Herbivores

Chez le lapin, l'intestin grêle est principalement à gauche, en position caudal à l'estomac. Chez le chinchilla et le cochon d'Inde, l'intestin grêle se trouve principalement du côté droit de l'abdomen, assez crânialement, à côté de l'estomac. Chez les espèces herbivores, il est physiologique de retrouver de l'air dans les intestins (Figure 58).

□ Intestin grêle : Myomorphes

Chez les myomorphes, l'intestin grêle se trouve dans l'abdomen droit.

Figure 57 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)

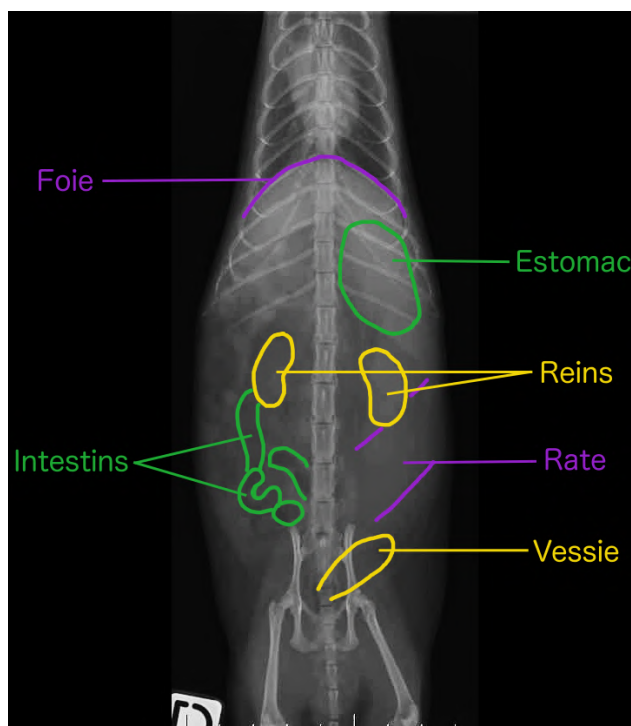
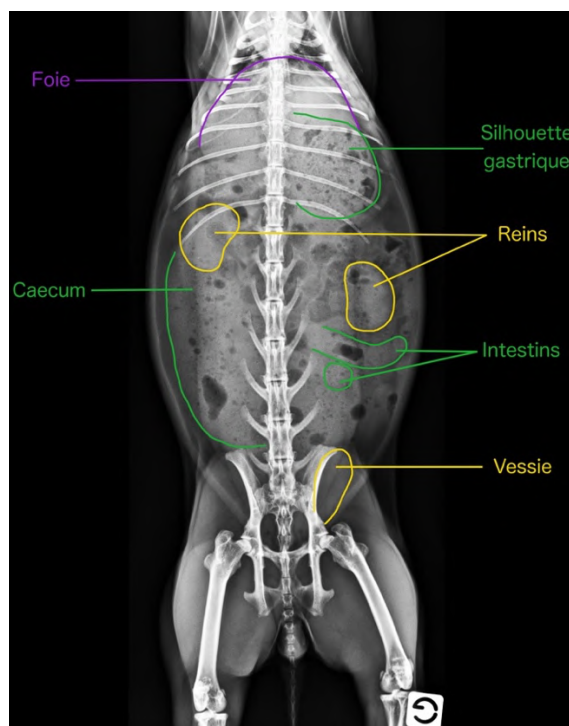


Figure 58 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



• *Caecum (O'Malley, 2005)*

Le furet n'a pas de caecum. Chez les herbivores, le caecum occupe une grande partie de l'abdomen, jusqu'à un tiers de celui-ci (Figure 59 et Figure 60). Il peut avoir un contenu plus ou moins homogène : il peut contenir exclusivement des selles, ou un mélange de gaz et de fèces.

□ Caecum : Lapin

Le caecum est visible ventralement sur l'incidence latéro-latérale. Sur l'incidence ventro-dorsale, il se situe principalement du côté droit de l'abdomen, mais également à gauche. Il peut être déplacé ventralement par de la graisse intra-abdominale.

□ Caecum : Cochon d'Inde / Chinchilla

Chez ces animaux, le caecum est légèrement plus dorsal et il se situe largement dans les deux parties de l'abdomen.

□ Caecum : Myomorphes

Chez les myomorphes, le caecum est beaucoup plus petit et difficilement visualisable, il est cependant plus facile à distinguer chez le rat que chez la souris.

Figure 59 : Photo ventrale des viscères abdominaux du lapin (O'Malley, 2005)

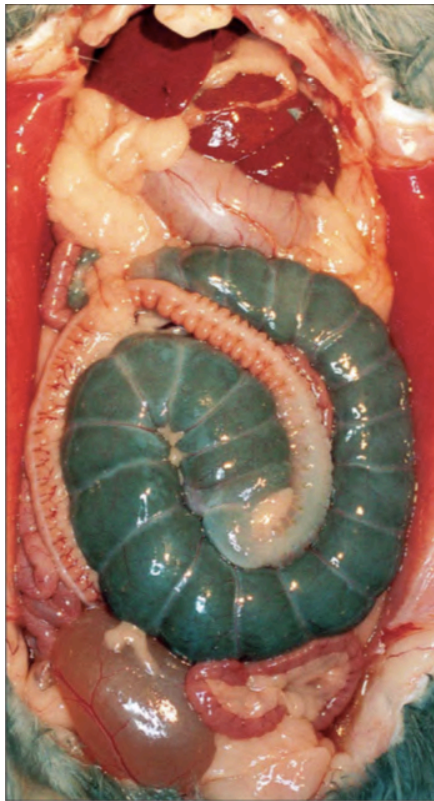
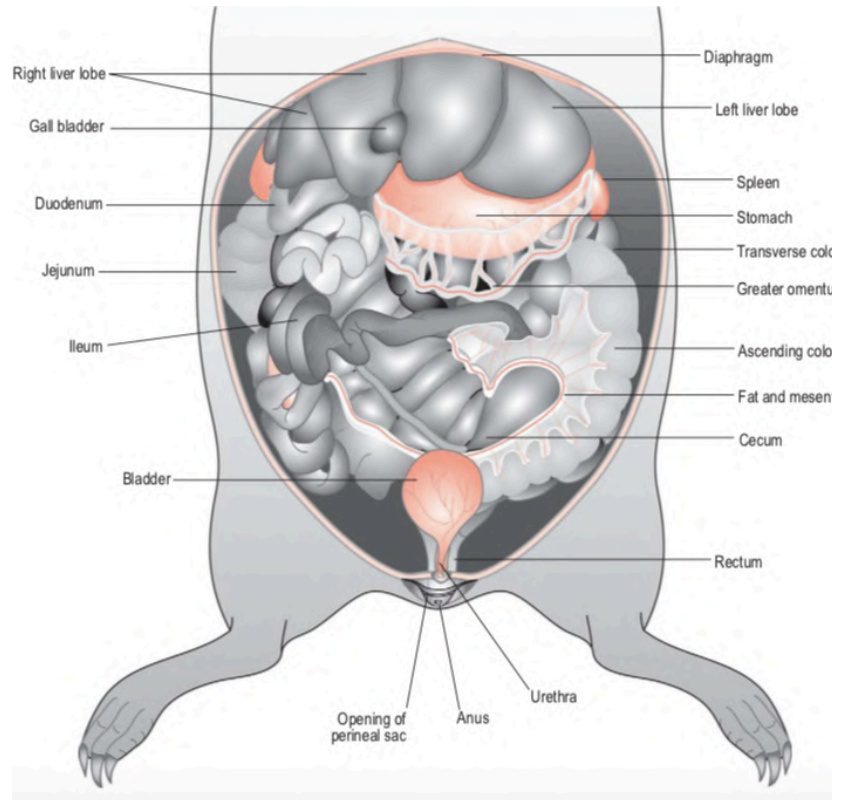


Figure 60 : Schéma ventral des viscères abdominale du cochon d'Inde : le caecum et le colon occupe la majorité de l'espace abdominal ventral (O'Malley, 2005)



• *Colon (O'Malley, 2005)*

Le colon descendant est généralement visible en région abdominale caudale. Ce sont surtout les selles qui le rendent visible et qui sont assez radio-opaques.

□ Colon : Herbivores

Le colon s'étend surtout ventralement et à droite de l'abdomen. Il contient principalement des fèces mais peut également contenir du gaz. Il est difficilement différenciable du caecum sans utilisation de produit de contraste.

□ Colon : Furet et myomorphes

Le trajet du colon est court chez le furet et les myomorphes. Le colon descendant est reconnaissable par la présence de selles.

b. Radio-anatomie des organes extra-digestifs

On présentera successivement la radio-anatomie du foie, de la rate, du pancréas et des glandes surrénales.

- Foie

L'apparence du foie des petits mammifères est similaire à celle du chien et du chat, il est homogène et d'opacité tissulaire. Il est crânial à l'estomac et son bord caudo-ventral ne doit pas dépasser le cercle de l'hypocondre. Chez le rat et le furet par contre, le foie peut se prolonger modérément au-delà de l'arc costal de manière physiologique (O'Malley, 2005 ; Lebas, 2008 ; Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- Rate

- Rate : Furet

On observe souvent une splénomégalie physiologique à l'examen radiographique chez le furet, notamment si l'animal a été sédaté ou anesthésié. Sur la vue latéro-latérale, on observe souvent la partie la plus ventrale de la rate. Elle est d'opacité tissulaire et forme un triangle. Sur la vue ventro-dorsale, la rate peut être présente dans les deux héli-abdomen, le plus souvent en région moyenne et latéralement au fundus (Lebas, 2008 ; Hecht, 2020).

- Rate : Rongeurs et lagomorphes

La rate est rarement visible chez les rongeurs et lagomorphes (Hecht, 2020).

- Pancréas

Le pancréas n'est généralement pas visible chez les petits mammifères à l'examen radiographique (Hecht, 2020).

- Glandes surrénales

Les glandes surrénales ne sont pas visibles chez les petits mammifères à l'examen radiographique (Hecht, 2020).

Tableau 6 : Particularités digestives et extra-digestives des espèces étudiées (HEGELEN et THIRIET, 2012 ; Robert, 2022)

Espèce	Estomac	Gros intestin	Foie	Pancréas
Furet		Absence de caecum Absence de valvule iléo-colique	Six lobes, VB en forme de poire	Pancréas en V, deux lobes, un canal par lobe
Lapin	Simple Sphincters cardiaque et pylorique très développés	Caecum et côlon ascendant très développés	Quatre lobes	Diffus Un conduit pancréatique accessoire
Cochon d'Inde	2 parties Sphincters cardiaque et	Caecum très développés Colon ascendant replié	Lobé et lobulation	En U

	pylorique très développés			
Chinchilla	2 parties	Caecum très développé Long colon replié	Lobé	
Rat / Souris	2 parties Cardia très serré	Simple	Pas de vésicule biliaire (VB) chez le rat	Plusieurs conduits pancréatiques

c. Radio-anatomie de l'appareil urinaire

On abordera la radio-anatomie de l'appareil urinaire en commençant par les reins, puis les uretères, la vessie et enfin l'urètre.

- *Reins (Lebas, 2008 ; Krautwald-Junghanns et al., 2010 ; Ségalat et al., 2012)*

Les reins des petits mammifères se trouvent dans le rétro-péritoine, et comme chez le chien et le chat, le rein gauche est légèrement plus caudal que le droit. En incidence latéro-latérale, les deux reins sont superposés mais légèrement décalés : on distingue le pôle crânial du rein droit ainsi que le pôle caudal du rein gauche. Ils prennent la forme de haricot comme chez le chien et chat et sont de densité homogène et liquidienne. Ils ont par contre des positions abdominales légèrement différentes selon les espèces (Tableau 7).

□ Reins : Furet

Les reins du furet sont normalement assez bien identifiables. Le rein droit est placé en L2-L3 et le rein gauche en L3-L4. Une étude a été réalisée et compare la taille des reins à la taille de la vertèbre L2, les valeurs obtenues sont dans le Tableau 8 (Eshar et al., 2013).

□ Reins : Lapin

Les reins sont également assez bien visibles chez le lapin, surtout quand il y a présence de graisse intra-abdominale. Par contre, lorsque les lapins sont obèses, les reins sont déplacés ventralement par la graisse qui se loge dans l'espace rétro-péritonéale. Le rein droit est situé en T13-L1 et le rein gauche en L3-L5.

□ Reins : Cochon d'Inde, chinchilla et myomorphes

Chez les autres espèces de petits mammifères, les reins sont difficilement visibles, notamment à cause de la place que prend le tube digestif dans l'abdomen. Chez le rat néanmoins, une étude similaire à celle du furet a été mise en place pour comparer la taille des reins à celle de la vertèbre L2, les valeurs obtenues sont dans le Tableau 8 (Balıkcı Dorotea et al., 2016).

Tableau 7 : Positionnements radiographiques des reins de chaque espèce par rapport aux vertèbres thoraciques (T) et lombaires (L) (Krautwald-Junghanns et al., 2010)

Espèce	Rein droit	Rein gauche
Furet	L2 - L3	L3 - L4
Lapin	T13 - L1	L3 à L5

Cochon d'Inde / Chinchilla	T12/T13 - L1	T13/T14 - L2
Rat	T12/T13 - L1	T12 - L2
Souris	L2 à L4	L3 à L5

Tableau 8 : Mesures radiographiques (en mm) des reins et ratios avec la deuxième vertèbre lombaire (L2), obtenus dans une étude chez le rat et une chez le furet

Espèce	Rein Gauche		Rein Droit		Références
	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur	
Rat	20,25-21,82	1,82-13,38	19,09-21,95	11,66-13,90	(Balıkçı Dorotea et al., 2016)
	Ratio L2	Ratio L2	Ratio L2	Ratio L2	
	2,39-3,85	1,21-2,51	2,13-3,98	1,16-2,44	
Furet	28,47-30,19	14,22-15,05	29,23-31,02	14,37-15,29	(Eshar et al., 2013)
	Ratio L2	Ratio L2	Ratio L2	Ratio L2	
	2,15-2,25	1,07-1,12	2,21-2,31	1,09-1,14	

- *Uretères*

Les uretères ne sont pas visibles sur les clichés radiographiques, sauf en présence de calculs (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- *Vessie*

La vessie des petits mammifères est semblable radiographiquement à celle du chien et du chat. Elle est plus ou moins visible et crâniale en fonction de son état de réplétion. Elle se situe ventralement et à l'entrée du bassin (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- Vessie : Lapin

Chez le lapin, la vessie est facilement visible car les urines ont une opacité supérieure à celle des autres mammifères du fait de la présence physiologique de carbonate de calcium. La présence d'une vessie opaque peut également être pathologique, il faut alors se fier à la clinique de l'animal (Ségalat, 2012).

- Vessie : Autres

Chez les autres petits mammifères, la vessie pourra être compliquée à identifier à la vue de la masse digestive présente.

- *Urètre*

L'urètre n'est pas visible sur les clichés (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

d. Radio-anatomie de l'appareil reproducteur

- *Radio-anatomie de l'appareil reproducteur des femelles (Hecht, 2020)*

Chez la plupart des petits mammifères, l'appareil reproducteur des femelles n'est pas visible.

□ Lapin

Chez la lapine, l'utérus n'est pas usuellement visible. Si l'utérus est distingué à la l'examen radiographique, il indique souvent la présence d'une pathologie de l'utérus.

□ Cochon d'Inde

Chez le cochon d'Inde, il est possible de voir les ovaires qui peuvent mesurer plusieurs centimètres.

• *Radio-anatomie de l'appareil reproducteur des mâles*

Les testicules des petits mammifères sont généralement bien visibles sur les clichés radiographiques. L'os pénien est bien visible chez les cobayes, les chinchillas et les rats où il est court, et chez le furet chez qui il est plus long. Le lapin ne possède pas d'os pénien (Hecht, 2020).

C. Radio-anatomie de la tête des petits mammifères

L'examen radiographique de tête permet principalement d'aller évaluer la dentition, mais également les affections des tissus mous ou des tissus durs de la tête. Les os du crâne sont compliqués à aller évaluer radiologiquement de par leur superposition. Comme vu précédemment, il faut réaliser plusieurs incidences complémentaires (une à deux latéro-latérales, une dorso-ventrale, et deux obliques) pour avoir une vision complète de la dentition. Le type de dentition et le nombre de dents varient entre les espèces étudiées (Tableau 9). Pour aller compléter un examen radiographique de tête, un examen tomодensitométrique sera intéressant (Winn, 2006). Pour chaque espèce on présentera les os du crâne, puis la dentition et finalement les bulles tympaniques.

a. Radio-anatomie de la tête : Furet

• *Furet : Os du crâne*

Le crâne de furet est allongé et plat et il présente une sténose caractéristique entre les os de la face et du crâne (Figure 61 ; Figure 62) (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 61 : Anatomie dorsale du crâne de furet, les flèches rouges désignent la sténose entre les os de la face et du crâne (O'Malley, 2005)

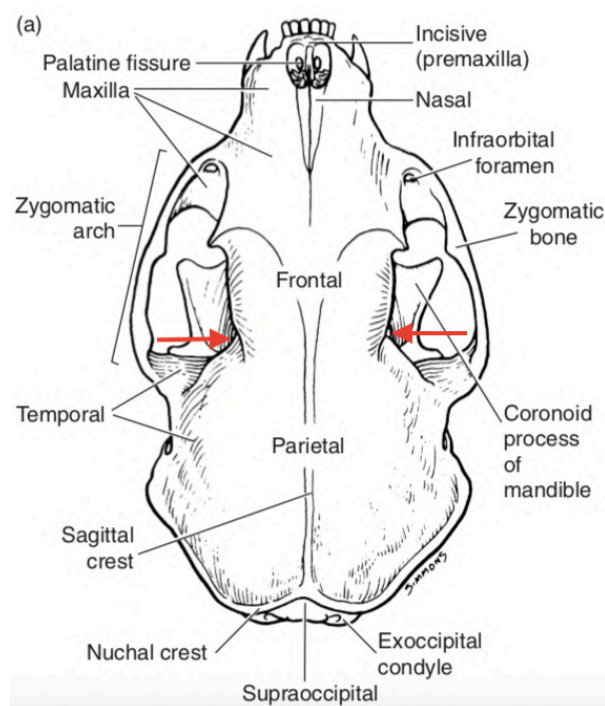
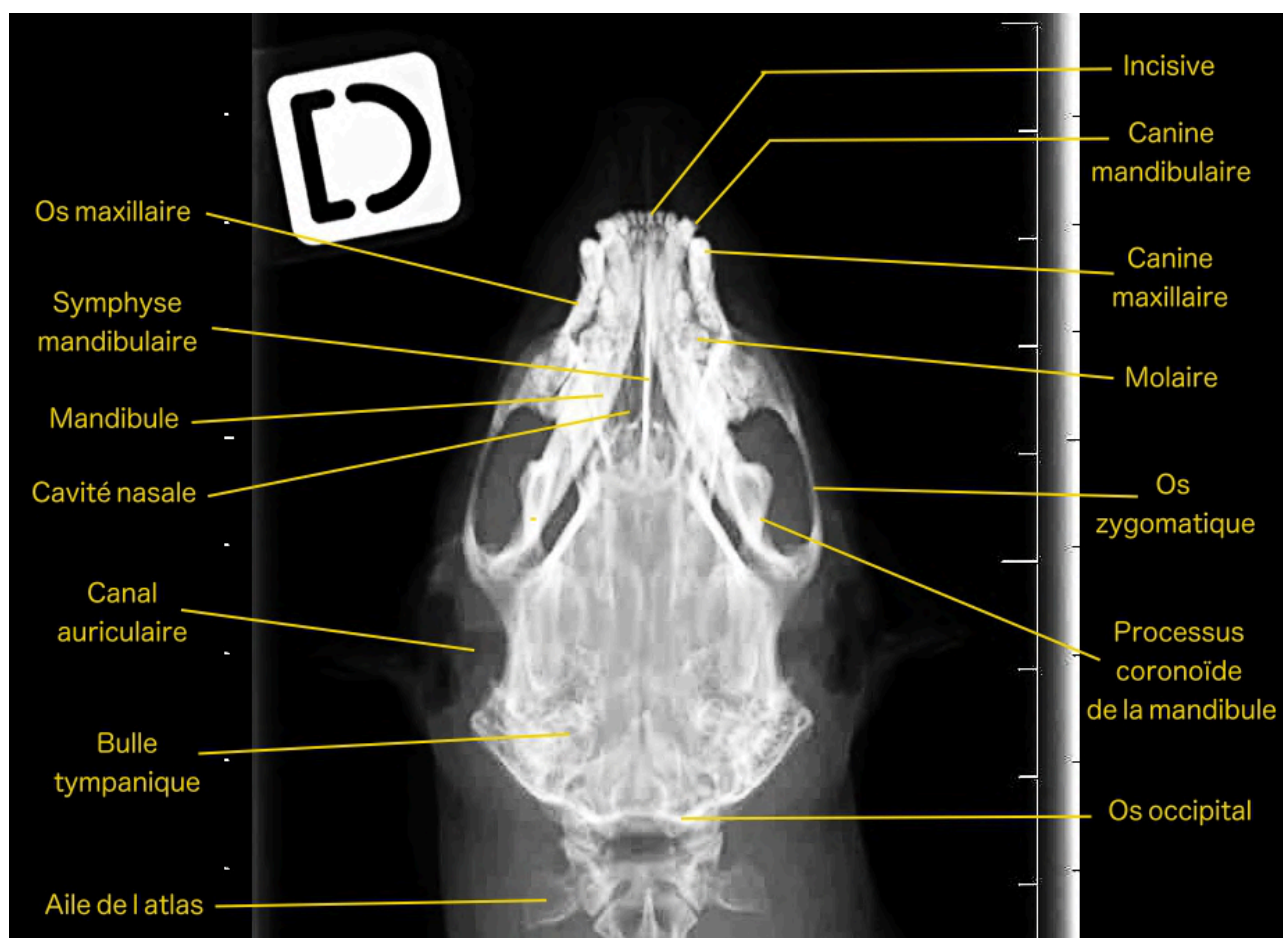


Figure 62 : Cliché radiographique dorso-ventral légendé de tête de furet (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



- *Furet : Dentition*

La dentition des furets est similaire à celle des autres carnivores domestiques avec trois incisives, une canine, trois prémolaires et deux molaires par cadran, ce qui lui fait au total 34 dents à l'âge adulte et 30 dents chez le jeune (Hecht, 2020).

- *Furet : bulles tympaniques*

Pas de particularités notables.

b. Radio-anatomie de la tête : Lapin

- *Lapin : Os du crâne*

Les os du crâne du lapin sont assez fins et donc peu radio-opaques. Les mandibules sont grandes mais très fines. Les sinus frontaux sont petits. Les détails des os du crânes sont rappelés sur les Figure 63 et Figure 64.

Figure 63 : Anatomie latérale du crâne de lapin (O'Malley, 2005)

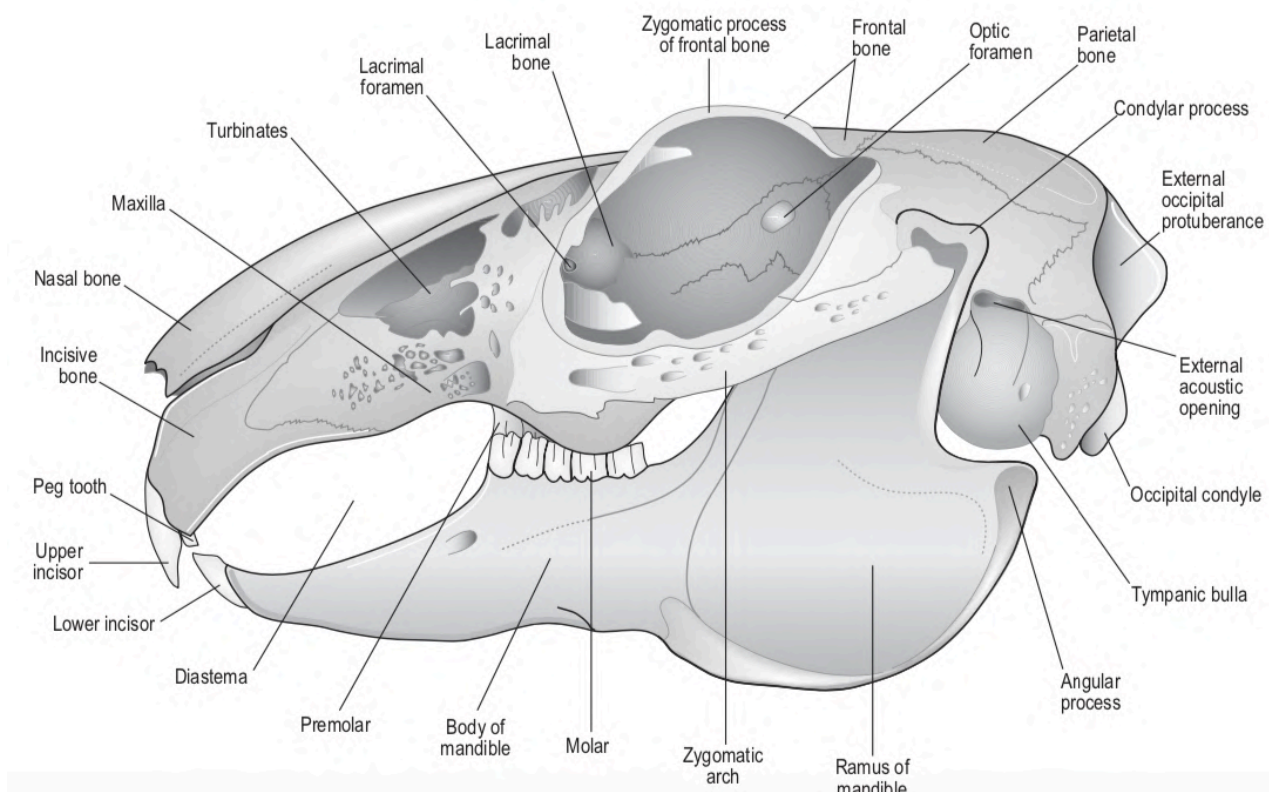
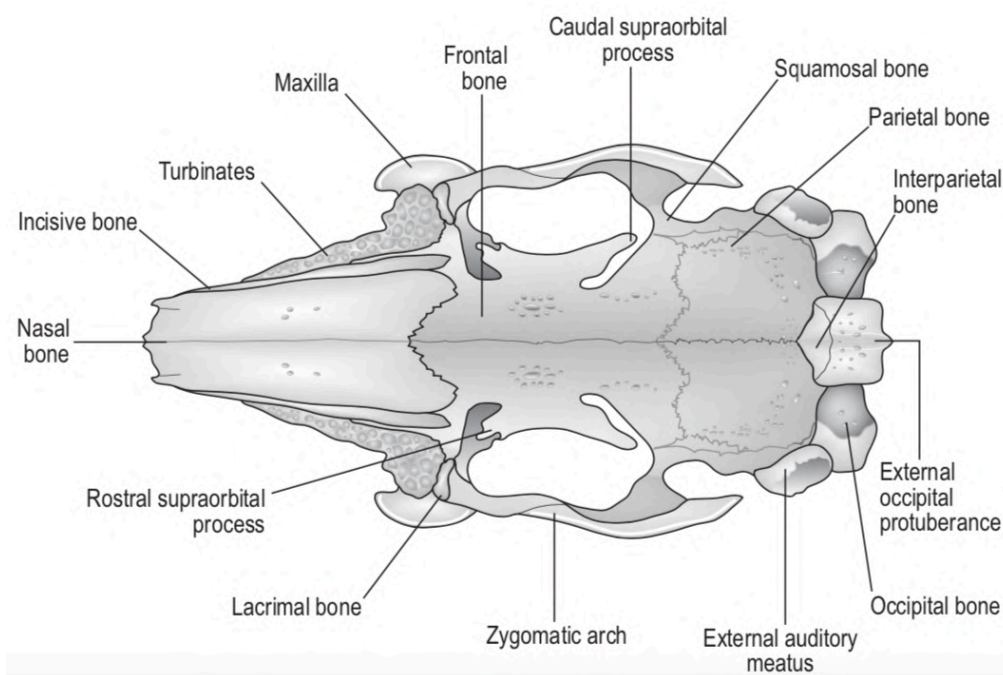


Figure 64 : Anatomie dorsale du crâne de lapin (O'Malley, 2005)

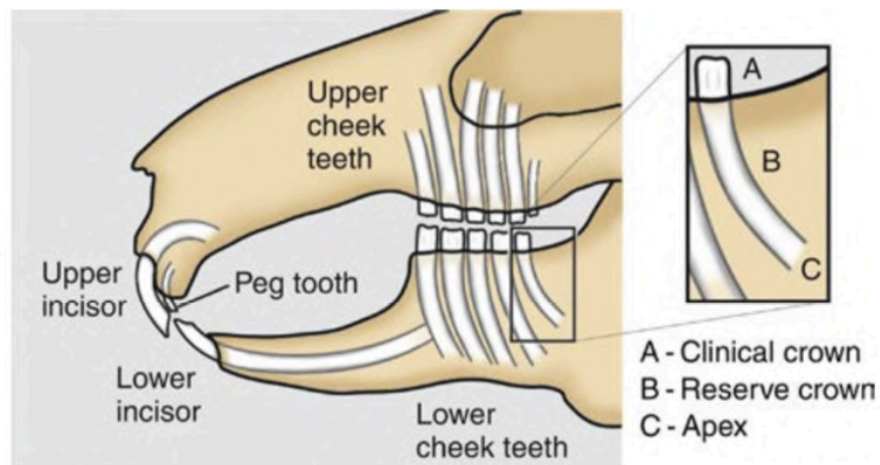


- *Lapin : Dentition (Krautwald-Junghanns et al., 2010 ; Pignon, 2022)*

Le lapin appartient au règne des lagomorphes, il a donc la caractéristique d'avoir deux paires d'incisives mandibulaires, la deuxième paire étant plus petite et placée caudalement à la première paire (Figure 65). Sur une hémimaxillaire il y a : deux incisives, trois prémolaires et trois molaires. Sur une hémimandibule il y a : une incisive, deux prémolaires et trois molaires (la troisième est plus petite). Chez le lapin, les prémolaires et les molaires sont nommées dents jugales. La dentition du lapin est donc composée de 28 dents. La partie sans dent située entre les incisives et les dents

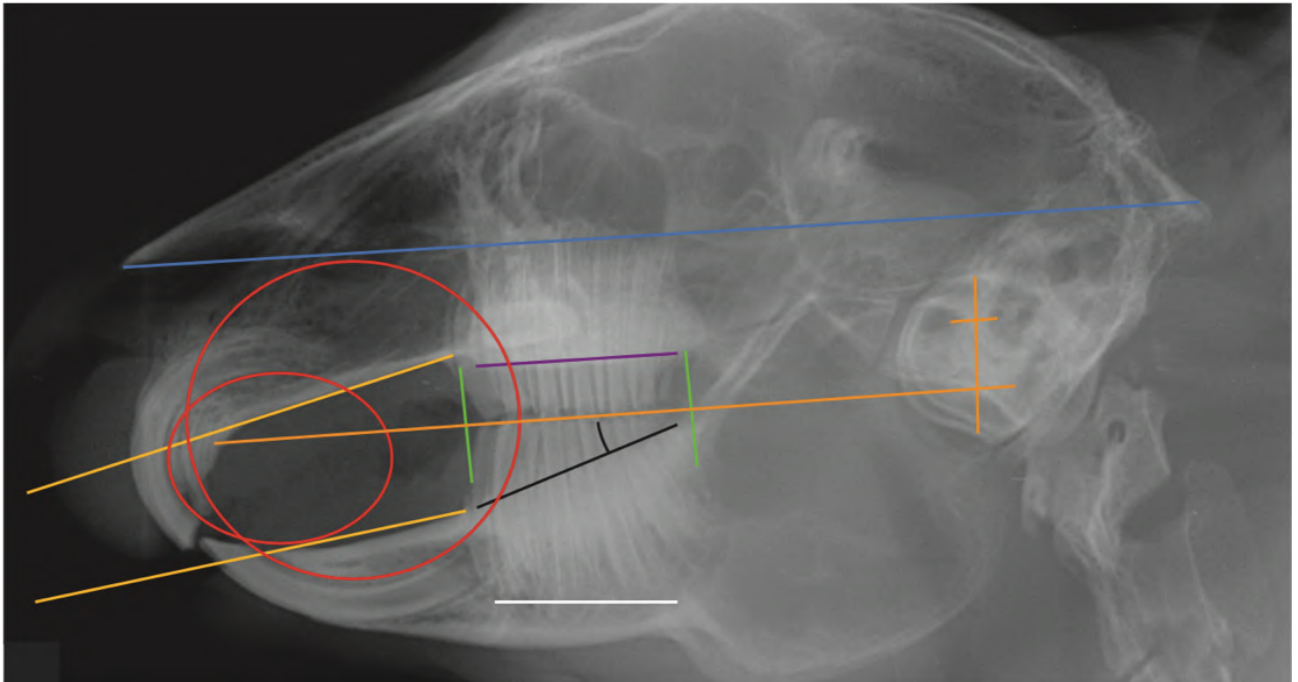
jugales est appelée diastème. Les dents du lapin ont une croissance continue. Du fait de l'alimentation inadaptée en captivité, le lapin a systématiquement des problèmes dentaires, de gravité plus ou moins importante. La dent est divisée en trois parties : la couronne clinique (la partie émergente de la dent), la couronne de réserve (la partie enchâssée dans la mâchoire) et le bourgeon terminal (qui permet la pousse continue de la dent) (Figure 65).

**Figure 65 : Schéma latéral des dents d'un lapin, et schéma individuel d'une dent.
A : Couronne clinique ; B : Couronne de réserve ; C : Bourgeon germinale (Quesenberry et al., 2020)**



L'examen buccal ne permettant de voir qu'une partie des anomalies dentaires (l'ouverture de la bouche étant très étroite), l'examen radiographique se montre indispensable pour aller explorer la dentition des lapins, et il permet notamment d'aller visualiser la couronne de réserve. Plusieurs incidences et des clichés de bonne qualité sont indispensables pour élaborer un bilan complet des dents du lapin (Bulliot et Flenghi, 2020). Deux études ont permis de mettre en place des techniques pour évaluer les occlusions ou malocclusions dentaires. Ces techniques s'appuient sur le tracé de lignes entre des repères anatomiques sur les différentes incidences. Il faut ensuite comparer le tracé de ces lignes à celui des lignes de références (Gracis, 2008 ; Boehmer et Crossley, 2009).

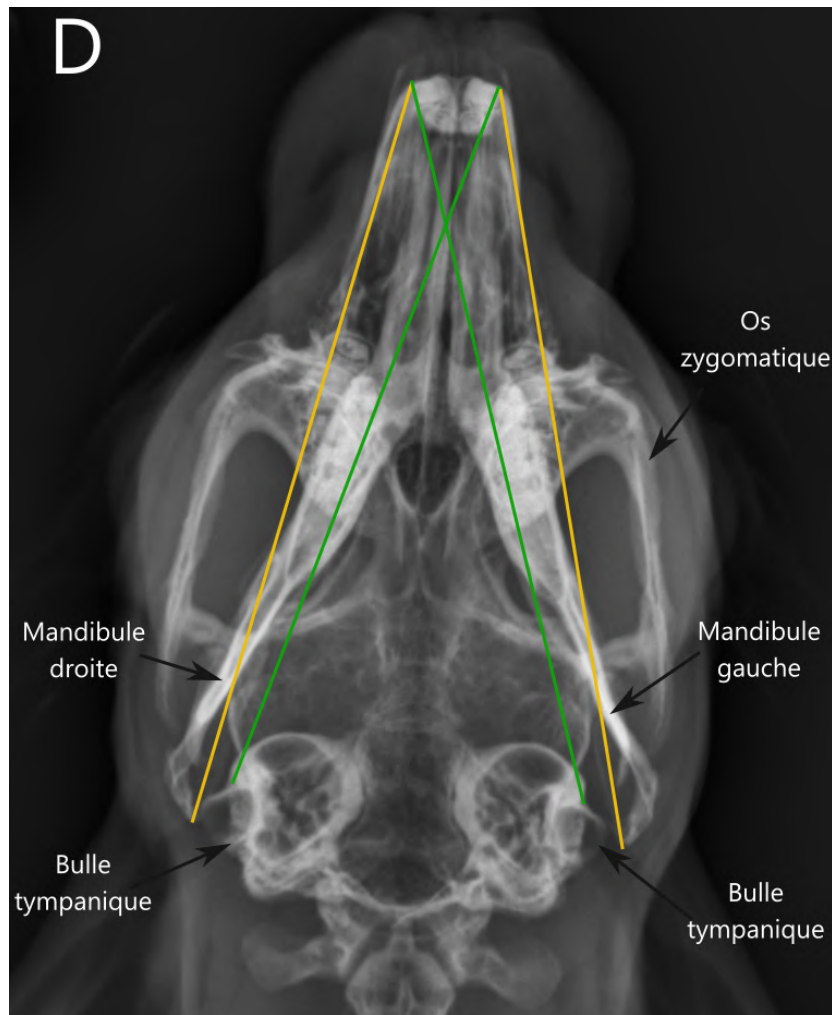
Figure 66 : Cliché radiographique en incidence latéro-latérale de crâne de lapin, avec les lignes de référence, dentition normale (Gracis, 2008 ; Boehmer et Crossley, 2009 ; Bulliot et Flenghi, 2020).



Détails de la Figure 66 (Bulliot et Flenghi, 2020 ; Pignon, 2022) :

- Lignes jaunes : le long des diastèmes. Ces lignes ne doivent pas être parallèles mais doivent se croiser loin devant la mâchoire.
- Ligne bleue : Entre la protubérance occipitale et la pointe rostrale de l'os nasal. Tous les bourgeons germinaux des molaires et prémolaires maxillaires doivent rester sur ou sous cette ligne.
- Ligne orange : Entre le tiers de la hauteur de la bulle tympanique et l'extrémité proximale du palais dur. La ligne d'occlusion entre les dents maxillaires et mandibulaires doit être sur cette ligne et former des dents de scie.
- Lignes vertes : Lignes qui sont placées devant les premières dents jugales et derrière les dernières dents jugales. Elles doivent faire à peu près la même taille.
- Ligne violette : Portion du palais dur au niveau des dents jugales maxillaires qui doit être parallèle à la ligne d'occlusion.
- Ligne blanche : Ligne tracée au niveau des bourgeons germinaux des dents mandibulaires et au-dessus de la corticale mandibulaire. Les bourgeons doivent rester au-dessus de cette ligne.
- Cercles rouges : L'un englobe les incisives mandibulaires et l'autre les incisives maxillaires. Les incisives maxillaires étant plus incurvées que les incisives mandibulaires, le cercle maxillaire a un périmètre plus petit que celui mandibulaire.

Figure 67 : Cliché radiographique en incidence dorso-ventrale de crâne de lapin, avec les lignes de référence (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



Détails de la Figure 67 (Bulliot et Flenghi, 2020 ; Pignon, 2022) :

- Lignes jaunes : Lignes qui délimitent la portion latérale des dents jugales en partant de la portion rostrale latérale de l'incisive mandibulaire et qui vont jusqu'au bord médian dorsale de la branche mandibulaire ipsilatérale.
- Lignes vertes : Lignes qui délimitent la portion médiale des dents jugales en partant de la portion rostrale latérale de l'incisive mandibulaire et qui vont jusqu'au bord latérale de la bulle tympanique controlatérale.

- *Lapin : Bulles tympaniques*

Les bulles tympaniques des lapins sont très développées et leurs parois sont plus épaisses que chez le chien et le chat. Lors des projections latéro-latérales celles-ci se superposent. Lors des projections obliques les contours des bulles tympaniques sont censés former un « huit ».

- *Lapin : Indications de l'examen radiographique de tête*

Les clichés radiographiques de tête de lapin permettent d'évaluer (Quesenberry et al., 2020 ; Vennen et Mitchell, 2009) :

- Les malocclusions dentaires : des incisives ou des dents jugales
- La position des racines dentaires

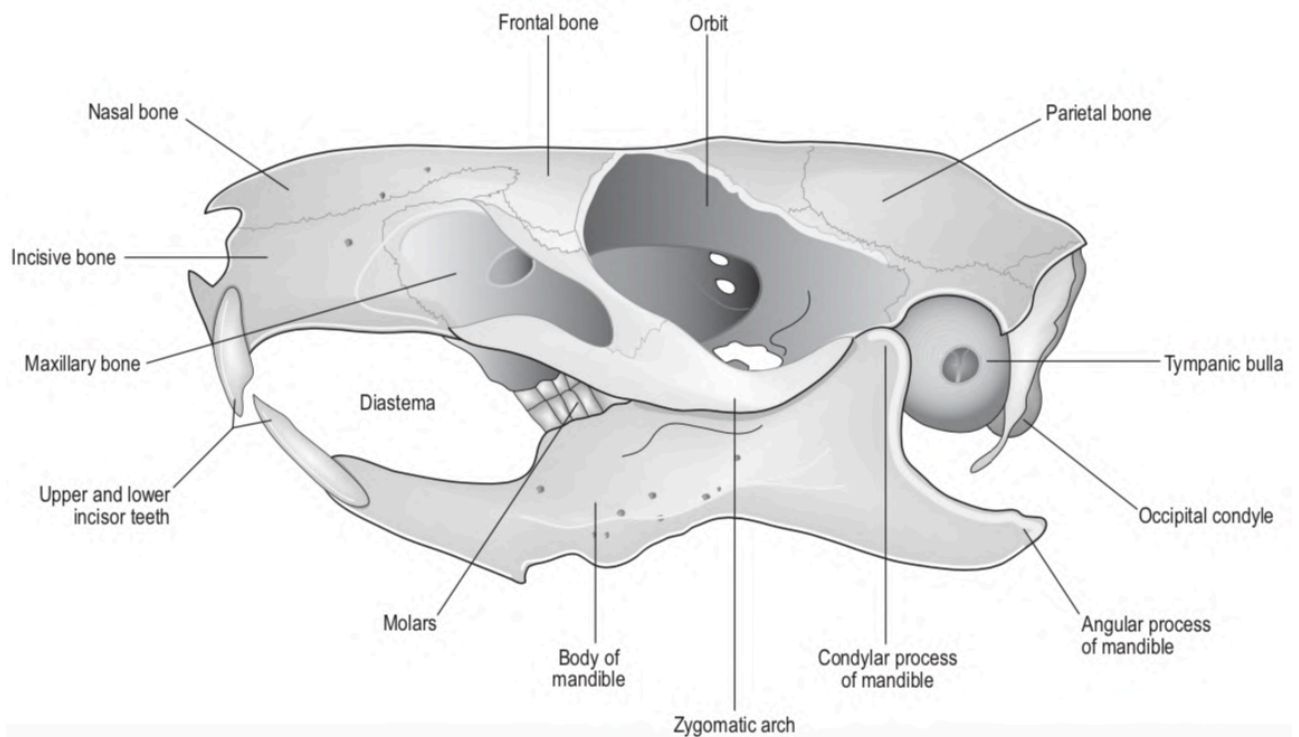
- La présence d'infection (abcès dentaire, ostéomyélite...)
- La fermeture de la mâchoire
- Les bulles tympaniques et d'observer s'il y a une otite moyenne ou interne
- Une fracture mandibulaire ou d'une dent, une luxation de mâchoire
- Une lésion des cavités nasales...

c. Radio-anatomie de la tête : hystricomorphes

- *Hystricomorphes* : Os du crâne

Le cochon d'Inde et le chinchilla ont un arc zygomatique large et puissant et un processus mandibulaire long (Figure 68).

Figure 68 : Anatomie latérale du crâne de cochon d'Inde (O'Malley, 2005)



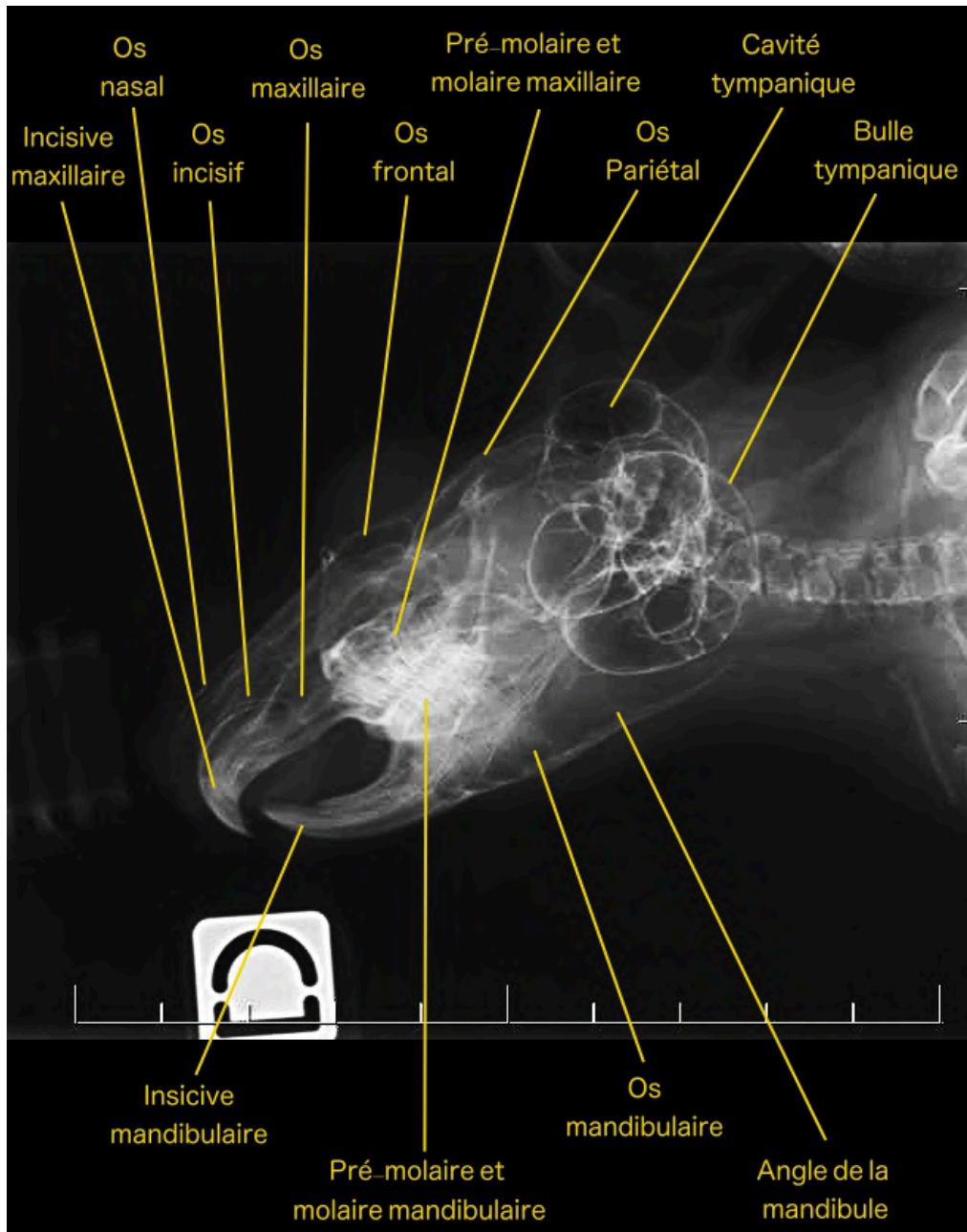
- *Hystricomorphes* : Dentition

Chez les cochons d'Indes et les chinchillas, il y a une incisive, une prémolaire et trois molaires par cadran. Leurs dentitions sont donc composées de 20 dents. Les incisives mandibulaires et prémolaires ne se touchent pas quand la bouche est fermée et les incisives mandibulaires font le triple en taille des maxillaires. Leurs dents sont également à croissance continue (Hecht, 2020 ; Mulherin, 2023).

- *Hystricomorphes* : Bulles tympaniques

Leurs bulles tympaniques sont bien développées mais plus particulièrement chez les chinchillas où elles prennent la forme d'une coquille d'escargot (Figure 69).

Figure 69 : Cliché radiographique oblique droit légendé de tête de chinchilla (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



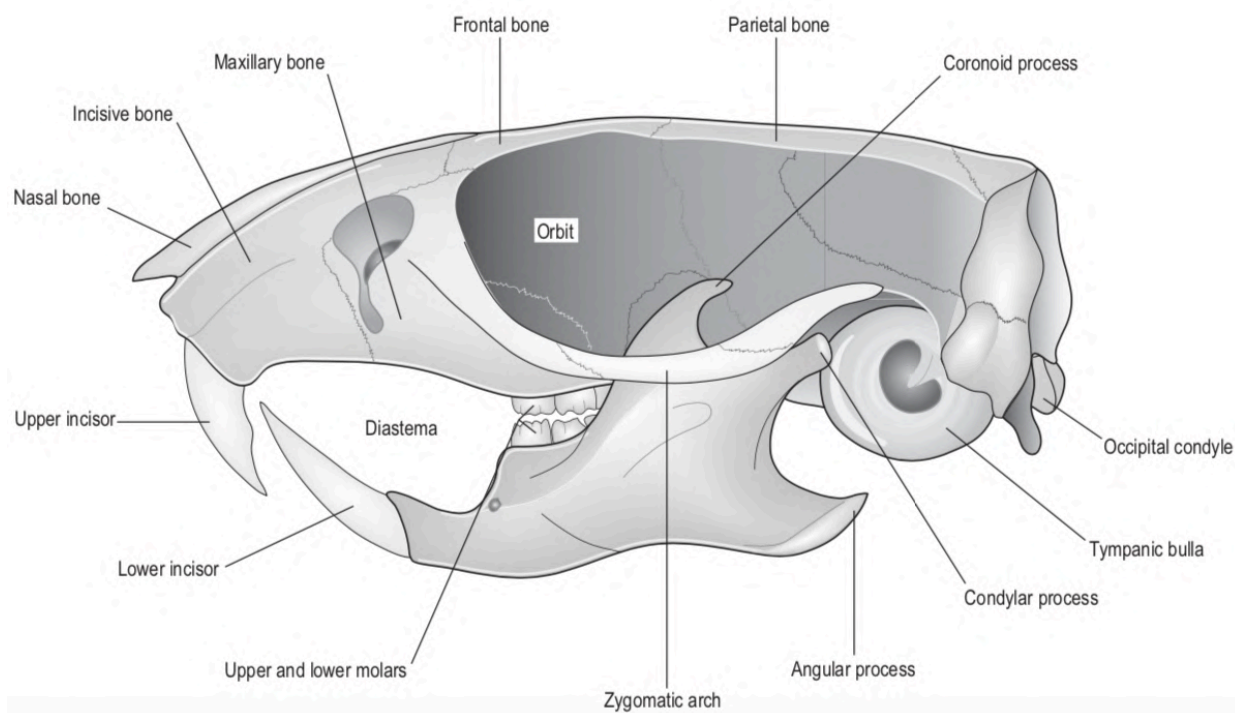
d. Radio-anatomie de la tête : Myomorphes

Les clichés radiographiques de tête sont moins réalisés que chez les autres petits mammifères au vu de la petite taille de leur crâne.

- *Myomorphes : Os du crâne*

Le crâne a une symphyse mandibulaire cartilagineuse et une articulation mandibulaire très mobile. Les mâchoires sont courtes. La surface du crâne est assez plate (Figure 70) (O'Malley, 2005).

Figure 70 : Anatomie latérale du crâne de rat (O'Malley, 2005)



- *Myomorphes : Dentition*

Les rats et les souris possèdent une incisive et trois molaires par cadran. Les incisives inférieures sont environ trois fois plus longues que les incisives supérieures. Les incisives sont à croissance continue alors que les molaires sont à croissance limitée (Mulherin, 2023).

- *Myomorphes : Bulles tympaniques*

Pas de particularités notables.

Tableau 9 : Formule dentaire des petits mammifères (Hecht, 2020 ; Mulherin, 2023)

Espèce	Nombre de dent	Formule dentaire Incisive (I), Prémolaire (PM), Molaire (M)	Type de Dentition
Lapin	28	I : 2/1, C : 0/0, PM : 3/2, M : 3/3	Croissance continue
Cochon d'Inde / Chinchilla	20	I : 1/1, C : 0/0, PM : 1/1, M : 3/3	Croissance continue
Rat / souris	16	I : 1/1, C : 0/0, PM : 0/0, M : 3/3	I : Croissance continue M : Croissance limitée
Furet	34	I : 3/3, C : 1/1, PM : 3/3, M : 1/2	Croissance limitée

D. Radio-anatomie du squelette axial des petits mammifères

La structure du squelette axial des petits mammifères est dans l'ensemble la même que chez le chien et le chat. On insistera principalement sur les différences existantes, notamment pour les formules vertébrales (Tableau 10). Pour chaque espèce, on présentera en premier lieu la colonne vertébrale, puis la cage thoracique (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Hecht, 2020).

a. Radio-anatomie du squelette axial : Furet

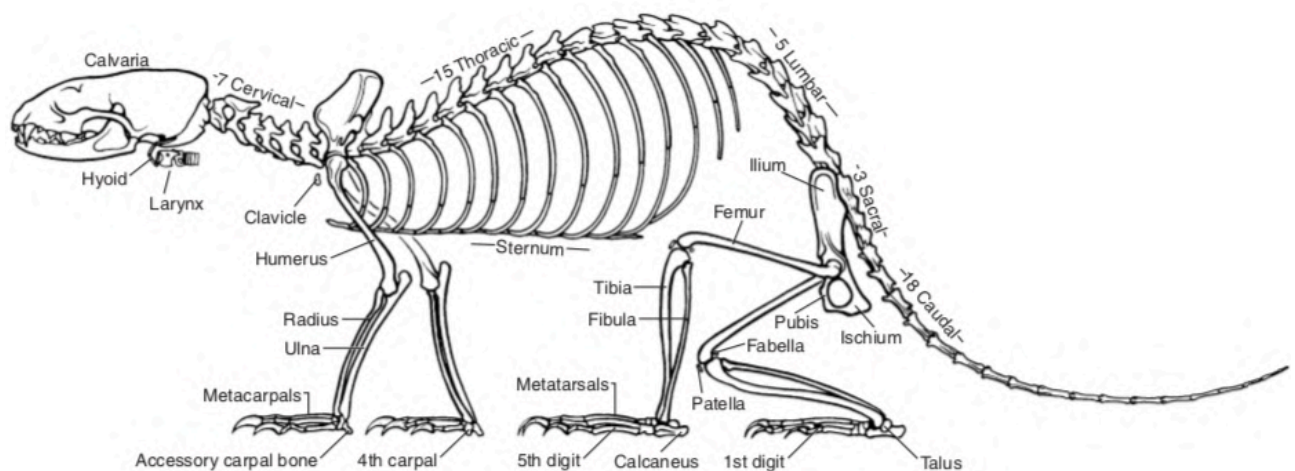
- *Furet : Colonne vertébrale*

Chez le furet il y a sept vertèbres cervicales, 14 à 15 vertèbres thoraciques, cinq à sept vertèbres lombaires, trois vertèbres sacrées et 18 vertèbres caudales (Figure 71).

- *Furet : Cage thoracique*

Le furet possède une cage thoracique assez longue mais relativement étroite crânialement. Le furet a 14 à 15 côtes dont les 12 premières sont attachées au sternum (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 71 : Anatomie latérale du squelette du furet (O'Malley, 2005)



b. Radio-anatomie du squelette axial : Lapin

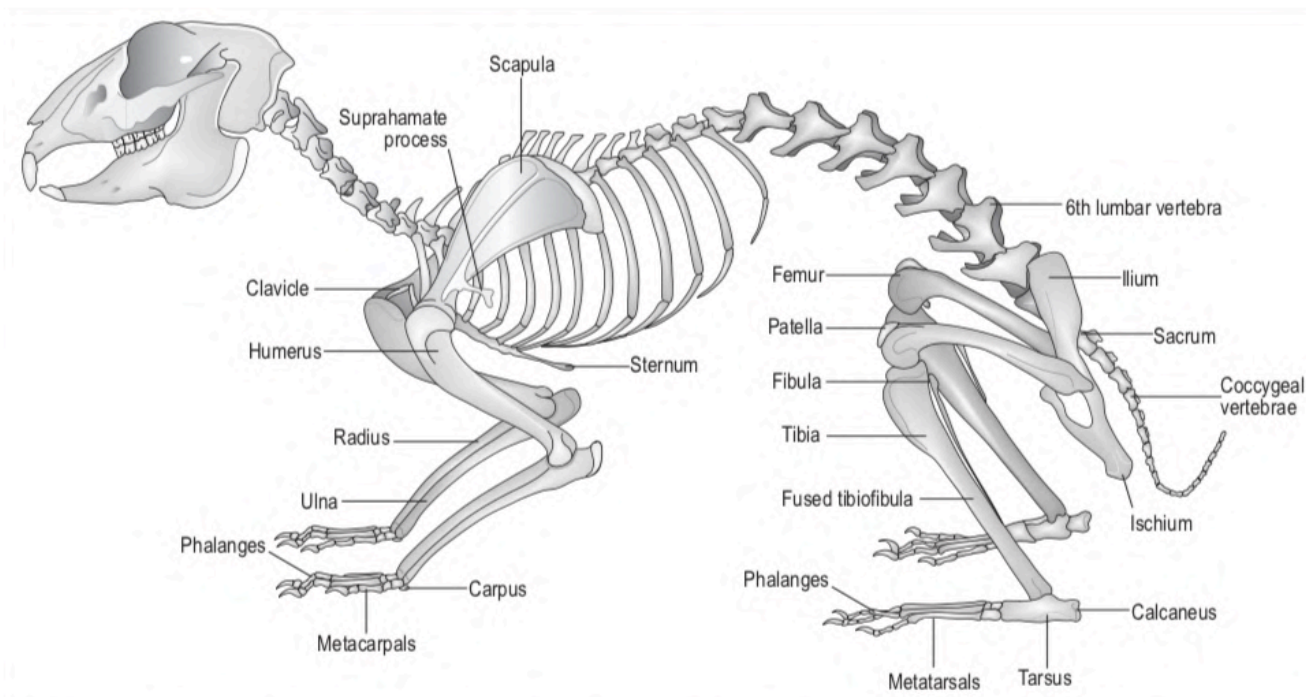
- *Lapin : Colonne vertébrale*

Le lapin a un squelette très fragile. Du fait de la domestication, la masse musculaire a proportionnellement plus augmentée que la masse osseuse. Il possède sept vertèbres cervicales, 12 à 13 vertèbres thoraciques, six à huit vertèbres lombaires, quatre vertèbres sacrées soudées et 15 à 16 vertèbres caudales. Les vertèbres lombaires caudales des lapins ont des apophyses particulièrement longues et larges (Figure 72) (Ségalat *et al.*, 2012 ; Hecht, 2020).

- *Lapin : Cage thoracique*

Le lapin possède 12 à 13 côtes en fonction du nombre de vertèbres thoraciques, dont sept fixées au sternum (composé de six à sept sternèbres). Les deux paires suivantes sont fusionnées avec la septième. Le reste des côtes est non fusionné, on les appelle également côtes flottantes comme chez le chien et le chat (Figure 72) (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 72 : Anatomie latérale du squelette de lapin (O'Malley, 2005)



c. Radio-anatomie du squelette axial : Cochon d'Inde

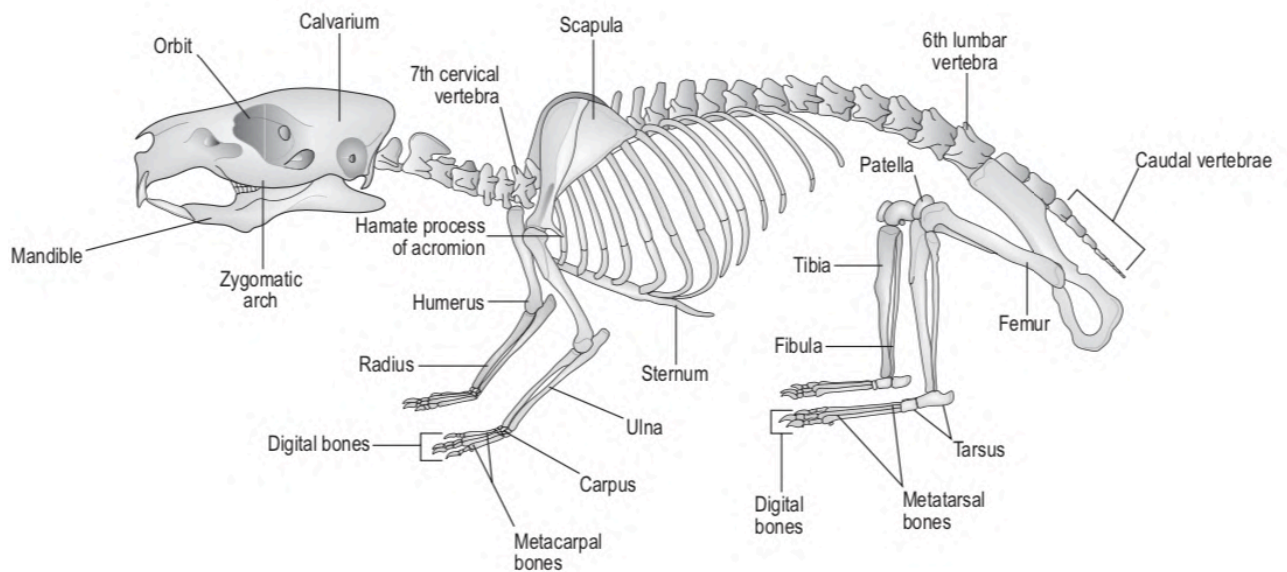
- *Cochon d'Inde : Colonne vertébrale*

Le cochon d'Inde possède sept vertèbres cervicales, 13 à 14 vertèbres thoraciques, six vertèbres lombaires, deux à trois vertèbres sacrées et quatre à sept vertèbres caudales (Figure 73) (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- *Cochon d'Inde : Cage thoracique*

Chez le cochon d'Inde, les côtes se minéralisent avec l'âge et ne doivent pas être confondues avec des processus pathologiques sur les clichés radiographiques de thorax (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 73 : Anatomie du squelette de cochon d'Inde (O'Malley, 2005)



d. Radio-anatomie du squelette axial : Chinchilla

- *Chinchilla* : Colonne vertébrale

Le chinchilla possède sept vertèbres cervicales, 14 vertèbres thoraciques, six vertèbres lombaires, quatre vertèbres sacrées et 21 vertèbres caudales (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- *Chinchilla* : Cage thoracique

Le chinchilla possède 14 côtes, le nombre de côtes sternales et asternales est variable.

e. Radio-anatomie du squelette axial : Myomorphes

- *Myomorphes* : Colonne vertébrale

Les rongeurs ont sept vertèbres cervicales, 13 vertèbres thoraciques, sept vertèbres lombaires, trois vertèbres sacrées fusionnées et 27 vertèbres caudales. Les vertèbres cervicales sont massives (Figure 74) (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

- *Myomorphes* : Cage thoracique

Les côtes une à sept sont fusionnées avec le sternum, et les trois dernières sont flottantes (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010).

Figure 74 : Anatomie latérale du squelette du rat (O'Malley, 2005)

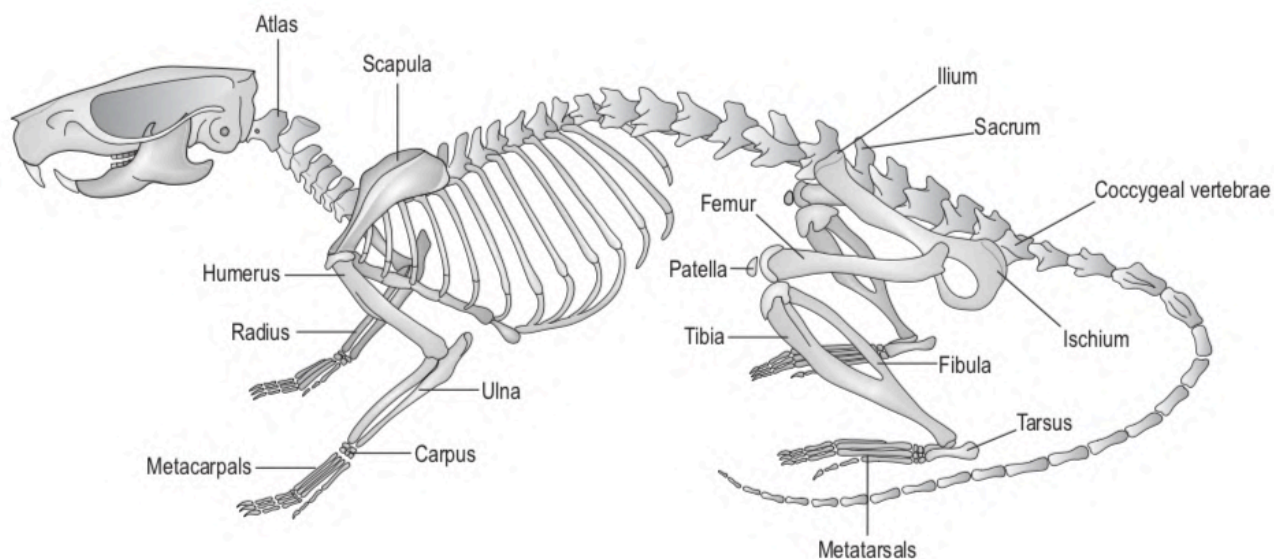


Tableau 10 : Formules vertébrales des petits mammifères étudiés (Krautwald-Junghanns et al., 2010)

Espèces	Vertèbres cervicales	Vertèbres thoraciques	Vertèbres lombaires	Vertèbres sacrées	Vertèbres caudales
Furet	7	15	6-7	3	18
Lapin	7	12-13	6-8	4	15-16
Cochon d'Inde	7	13-14	6	3-4	4-7
Chinchilla	7	14	6	4	21
Rat / Souris	7	13	6	4	27

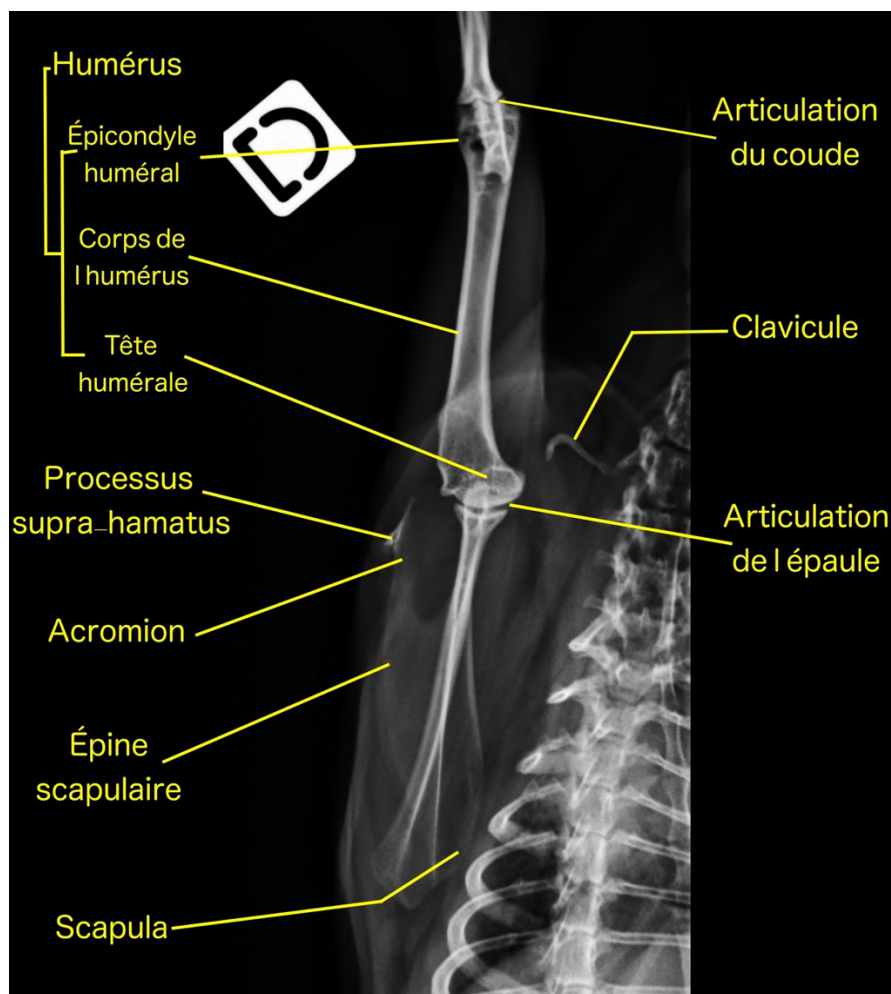
E. Radio-anatomie du squelette appendiculaire des petits mammifères

La radio-anatomie du squelette appendiculaire des petits mammifères est similaire à celle du chien et du chat. On appuiera le propos sur les différences avec celui-ci. On commencera d'une part par la radio-anatomie de la ceinture thoracique, puis du membre associé, et d'autre part, par celle de la ceinture pelvienne et du membre associé.

a. Radio-anatomie de la ceinture thoracique

Chez les petits mammifères, la clavicule est présente dans toutes les espèces. Elle est plus ou moins visible en fonction des individus : chez le lapin, le rat et le chinchilla elle est assez développée et incurvée (Figure 75), alors que chez le cochon d'Inde et le furet elle est assez petite et ne doit pas être confondue avec des remaniements pathologiques de l'articulation de l'épaule. Chez le rat, la clavicule est à croissance continue (Krautwald-Junghanns et al., 2010 ; Hecht, 2020).

Figure 75 : Cliché radiographique cranio-caudale légendé d'épaule de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



b. Radio-anatomie du membre thoracique

La structure du membre thoracique est dans l'ensemble la même que chez le chien et le chat.

- *Membre thoracique : Furet*

Les os du furet sont eux aussi assez fins et fragiles. Les mains du furet sont assez semblables à celle du chien avec cinq doigts (donc cinq os métacarpiens) composés de trois phalanges, sauf le premier qui en a deux. Les griffes sont bien développées et non rétractables comme chez le chien (O'Malley, 2005 ; Lebas, 2008).

- *Membre thoracique : Lapin*

Chez le lapin, la scapula a la particularité d'avoir un acromion qui possède un long processus supra-humatus, de 10 à 12 millimètres (mm) de long (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Figure 76). Les os longs (humérus, radius et ulna) sont plus longs et fins que dans les autres espèces. Au niveau du carpe, l'anatomie est relativement semblable à celle du chien et du chat, mais est plus compliquée à interpréter au vu de la petite taille des os. Cependant, le lapin possède un os du carpe central qui n'existe pas chez le chien et le chat (Figure 78). Le lapin possède cinq doigts : ils ont tous trois phalanges sauf le premier qui n'en possède que deux (Figure 77) (Winn, 2006 ; Ségalat *et al.*, 2012).

Figure 76 : Anatomie latérale de l'épaule gauche du lapin

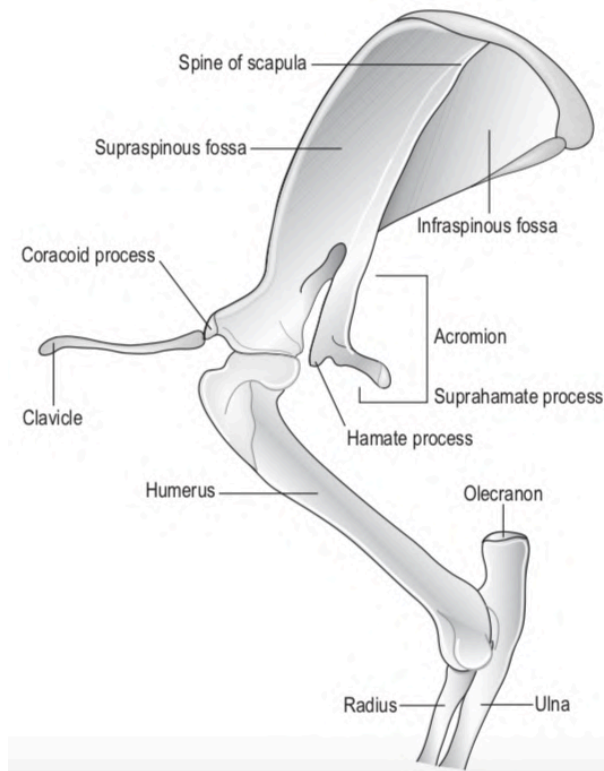


Figure 77 : Anatomie dorsale du carpe de lapin (O'Malley, 2005)

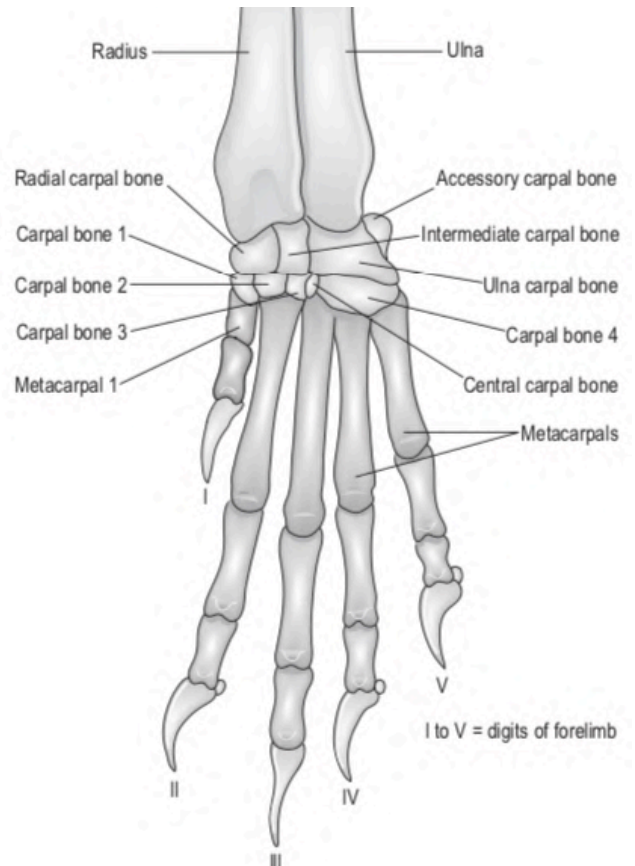
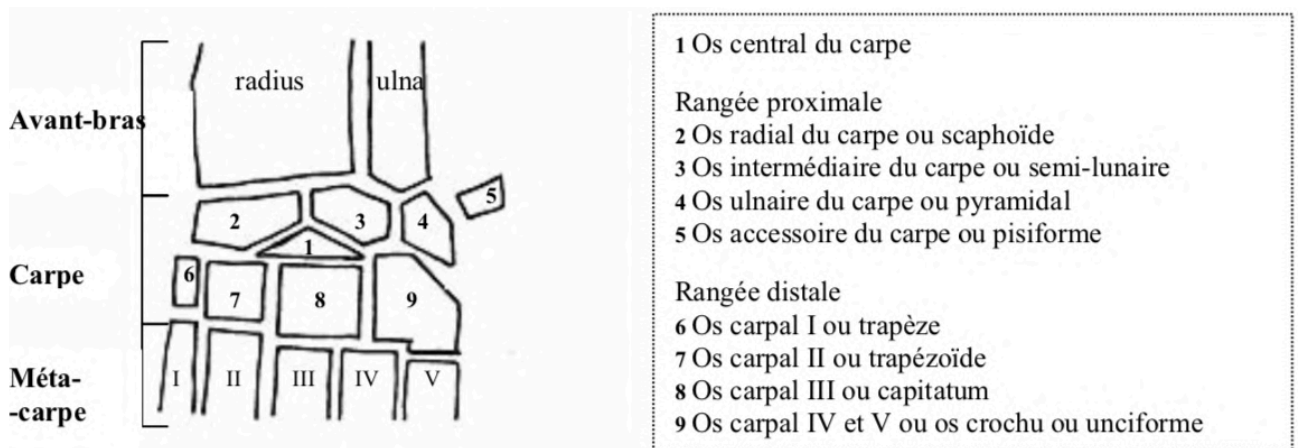


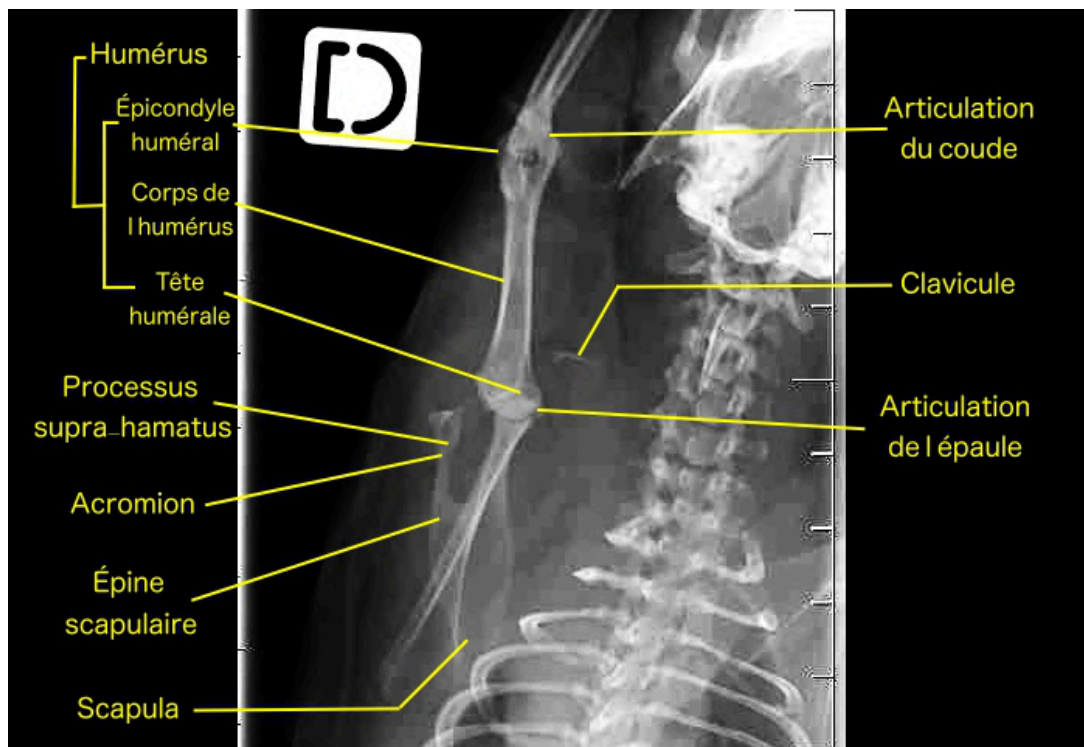
Figure 78 : Schéma dorsal du carpe gauche de lapin (Winn, 2006)



- *Membre thoracique : Cochon d'Inde*

Chez le cochon d'Inde le processus hamatus est assez long et s'étend jusqu'à l'articulation de l'épaule, il forme une sorte de « L » (Figure 79). Le cochon d'Inde possède seulement quatre doigt (le premier étant absent).

Figure 79 : Cliché radiographique cranio-caudale légendé d'épaule de cochon d'Inde (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



- *Membre thoracique : Chinchilla*

Le chinchilla possède cinq doigts, le cinquième étant atrophié.

- *Membre thoracique : Myomorphes*

Chez le rat la main est assez développée. Il y a cinq os métacarpiens, le premier doigt a deux phalanges, et les quatre autres en ont trois. Les doigts trois et quatre sont les doigts les plus longs. Le rat est palmigrade : il se déplace sur ses phalanges, ses métacarpiens et son carpe (O'Malley, 2005).

c. Radio-anatomie de la ceinture pelvienne

Chez le furet, le rat et la souris, le bassin ressemble à celui des chats, c'est-à-dire qu'il est assez droit. Chez les autres petits mammifères (cochon d'Inde, chinchilla et lapin) les os du bassin sont assez allongés et fins, et particulièrement chez le lapin.

Les lapins et les rats ont la particularité d'avoir gardé l'os acetabulum (un os accessoire) qui forme l'acétabulum avec l'ischium et l'ilium (Krautwald-Junghanns *et al.*, 2010 ; Ségalat, 2012).

d. Radio-anatomie du membre pelvien

La structure du membre pelvien est également majoritairement similaire à celle du chien et du chat.

- *Membre pelvien : Furet*

L'anatomie du pied du furet est similaire à celle de sa main : cinq doigts (donc cinq os métacarpiens) composés de trois phalanges, sauf le premier qui en a deux (Hecht, 2020).

- *Membre pelvien : Lapin*

Les os longs (fémur et tibia) sont pareillement plus longs et fins que chez les autres espèces. Le calcanéus est très épais et ne chevauche pas le talus comme chez les carnivores. Le lapin est plantigrade : il se déplace sur ses phalanges, sur son tarse et sur ses métatarsiens. Il possède quatre doigts formés de trois phalanges (le premier étant absent), il n'y a donc que quatre métatarsiens (Figure 80 ; Figure 81) (Hecht, 2020).

Figure 80 : Anatomie dorsale du tarse de lapin (O'Malley, 2005)

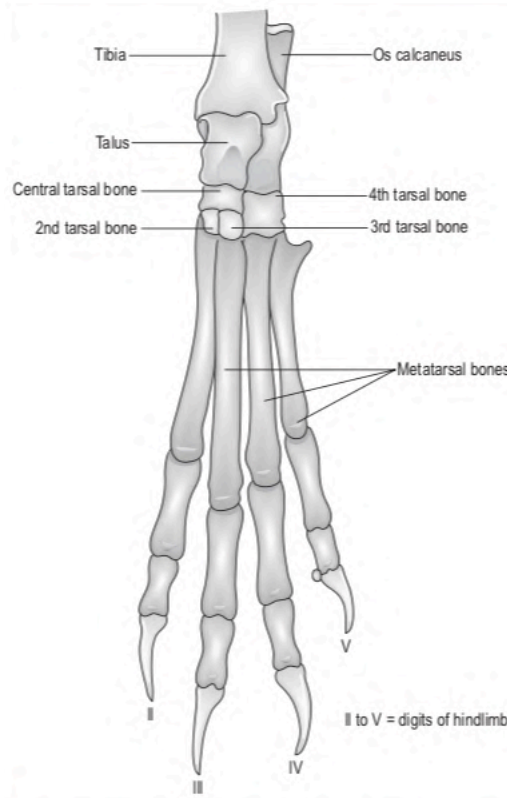
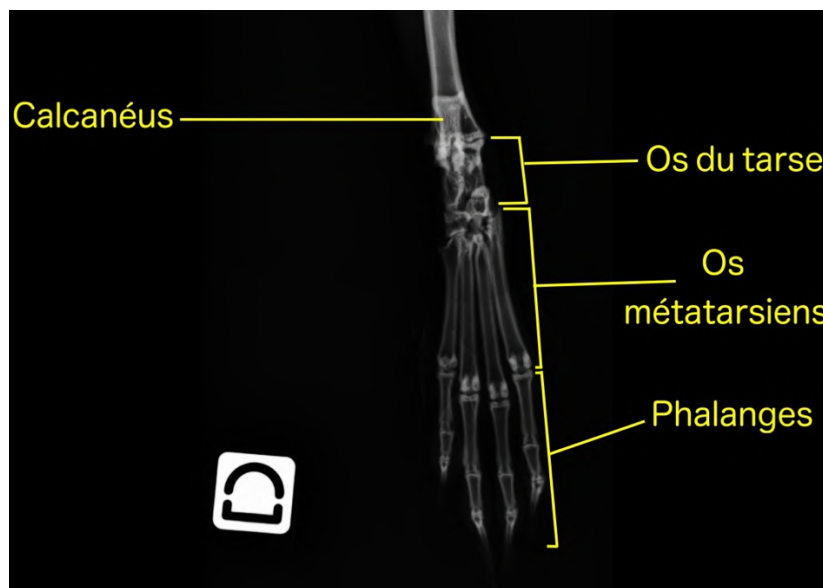


Figure 81 : Cliché radiographique crano-caudale légendé de pied de lapin (service d'Imagerie du ChuvA-Ac, annotations rajoutées pour ce travail)



- *Membre pelvien : Cochon d'Inde*

Le cochon d'Inde possède seulement trois doigts aux membres pelviens : le premier est rudimentaire et le dernier absent. Chacun des trois doigts possède trois phalanges. Les cochons d'Inde sont plantigrades (Hecht, 2020).

- *Membre pelvien : Chinchilla*

Le chinchilla possède quatre doigts au niveau de ses membres pelviens, le premier étant absent. Le cinquième doigt est assez court (Hecht, 2020).

- *Membre pelvien : Myomorphes*

Chez le rat, le pied est encore plus développé que la main. Il possède la même structure : cinq os métatarsiens, deux phalanges au premier doigt et trois phalanges aux trois autres doigts. Il est plantigrade (O'Malley, 2005).

Deuxième partie : élaboration du support pédagogique multimédia

1. Introduction

L'objectif de ce travail est d'apporter un complément pédagogique aux étudiants de l'EnvA sur l'examen radiographique des NAC. En effet, les cours sur les NAC dispensés aux étudiants sont plus nombreux qu'il y a quelques années, mais restent néanmoins en faible nombre (Tableau 11). En particulier, le cours d'imagerie médicale consacré aux NAC dans l'unité de compétence (UC) 316 dure seulement deux heures. De ce fait, il est impossible d'aborder en détails la réalisation de clichés de ces animaux, alors qu'il y a une demande de la part des étudiants d'avoir plus de formation sur ces actes qui sont importants pour le diagnostic et de par la nécessité pour les praticiens de savoir réaliser des clichés radiographiques de qualité sur ces espèces courantes.

Le but est de fournir un accès facile et rapide à des clichés radiographiques de bonne qualité et légendés, ainsi qu'à leur méthode de réalisation, pour faciliter la formation des étudiants. La réalisation d'un atlas interactif sur la plateforme numérique de l'école permet un accès simple et agréable à cet apprentissage. Cet atlas vient en complément du cours d'imagerie médicale des NAC (dans l'UC 316) dont les objectifs d'apprentissage sont présentés dans l'annexe 1.

Afin d'avoir les photos des positionnements, il a été choisi de refaire tous les examens radiographiques avec le service d'Imagerie du ChuvA-Ac, plutôt que d'aller chercher dans la banque de données. Cela permet d'être certain que les animaux sont sains, de s'assurer d'une bonne qualité des clichés, et de pouvoir mettre en parallèle le positionnement et son cliché radiographique.

Tableau 11 : Nombre d'heures (h) en NAC et Faune Sauvage (FS) en fonction des années d'école à l'EnvA et des UC pour la promotion 2024

Année	Nombres d'heures en NAC et FS à l'EnvA en fonction des UC	
	Cours magistraux (CM)	
	Travaux pratiques (TP)	
	Travaux dirigés (TD)	
Deuxième année	UC 215 (contention et soins de base) : 3h de CM, 4h de TP	
Troisième année	UC 316 (sémiologie) : 8h de CM, 4h de TP	
	UC 317 (reproduction) : 2h de TD	
	UC 325 (élevage) : 10h de CM	
Quatrième année	UC 415 (urgence) : 2h de CM	
	UC 421 (médecine) : 10h de CM	
	UC 422 (chirurgie) : 2h de CM 2h de TP	

Cinquième année	2 journées et demi au service NAC 2 journées et demi au service ChuvA - FS
Sixième année	Une semaine au service NAC

2. Matériels et méthodes

A. Les animaux

Les animaux ont été recrutés dans le cadre de l'école via un réseau social. Le seul critère de recrutement était que les animaux soient sains. Les propriétaires étaient des étudiants ou du personnel de l'école vétérinaire. Ils ont tous donné leur consentement pour que leur animal soit anesthésié et pour que leurs clichés radiographiques apparaissent dans ce travail. Les animaux recrutés, leur âge, leur statut reproducteur et leur poids sont donnés dans Tableau 12. Le hamster aurait dû être inclus dans ce travail mais n'a pas pu l'être pour un manque de disponibilité. Un examen clinique général a été réalisé sur chaque animal ainsi qu'un interrogatoire sur l'anamnèse et les antécédents médicaux. En ce qui concerne le lapin et le rat, pour des questions de durée de l'examen et de disponibilité des animaux, deux animaux par espèce ont été recrutés.

Tableau 12 : Animaux recrutés dans ce travail avec leur âge, leur statut reproducteur et leur poids.

Espèce	Âge au moment de l'examen radiographique	Statut reproducteur	Poids en gramme (g) au moment de l'examen
Furet	2 ans et 9 mois	Femelle stérilisée	500 g
Lapin	Non connu	Mâle stérilisé	1 900 g
Lapin	1 ans et 6 mois	Femelle entière	2000 g
Cochon d'Inde	1 ans et 6 mois	Mâle entier	1200 g
Chinchilla	3 ans et 9 mois	Mâle entier	650 g
Rat	2 ans et 7 mois	Mâle stérilisé	45 g
Rat	1 et 6 mois	Mâle entier	40 g
Souris	Non connu	Mâle entier	29 g

B. Matériel radiographique

Le matériel radiographique utilisé est celui du service d'Imagerie du ChuvA-Ac. Les clichés radiographiques ont été réalisés avec une machine de radiographie tube et générateur GER VET-TECH 300 HF. Le premier capteur plan utilisé était le CANON XDRIS-S et le second est le VET

TECH. Les clichés radiographiques réalisés avec le second capteur plan sont de meilleure qualité que les premiers.

Les constantes utilisées sont rapportées dans le Tableau 13. Elles ont été adaptées suite au changement de machine et varient en fonction des animaux et des incidences réalisées.

Tableau 13 : Tableau des constantes radiographiques et de leurs valeurs utilisées pour réaliser l'atlas

Constantes radiographiques	Valeurs des constantes
kV	50 - 60
mA	150 - 250
s	0,015 – 0,075

C. Séances de prise de vues

a. Organisation des séances

Les séances de prise de vue ont été planifiées sur les temps creux du service de radiologie et sur les temps de présence de la manipulatrice en radiologie. La difficulté a été de faire correspondre ces deux ou trois créneaux par mois avec la disponibilité des animaux et de leur propriétaire. Huit séances d'une heure et demi ont été réalisées. Pour chacune, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Examen clinique des animaux
- Contention des animaux
- Anesthésie des animaux par l'Auxiliaire Spécialisé Vétérinaire (ASV) en NAC au ChuvA-Ac
- Pour chaque incidence :
 - Positionnement des animaux et choix des constantes de radiographie par la manipulatrice du service de radiologie
 - Prise de cliché photographique du positionnement des animaux
 - Prise de cliché radiographique par la manipulatrice du service de radiologie
 - Évaluation de la qualité du cliché radiographique et nouvelles prises au besoin
- Surveillance du réveil de l'animal et retour à la maison.

b. Contention et positionnement des animaux

Tous les animaux ont été anesthésiés pour ce travail, pour différentes raisons :

- Respecter la radioprotection au vu du nombre d'examens radiographiques réalisés
- Pouvoir réaliser un grand nombre d'incidences radiographiques en peu de temps
- Pouvoir être précis sur les positions
- Pouvoir prendre des photos des positionnement
- Respecter le bien-être des animaux recrutés dans ce travail et leur éviter le stress de la contention

Ils ont été anesthésiés à l'aide d'une machine anesthésique avec un circuit réinhalatoire, un ballon d'un demi litre, de l'isoflurane et en respectant les étapes suivantes :

- Rinçage de la bouche au besoin
- Pré-oxygénation de cinq minutes à l'aide d'un masque de taille adaptée et au débit d'un litre par minute
- Induction par titration à l'isoflurane
- Maintien à l'isoflurane
- Surveillance du réveil

Les animaux ont ensuite été positionnés principalement avec du ruban adhésif et des sacs de sable, mais également à l'aide de compresses ou de matelas en mousse au besoin. Tous les positionnements ont été réalisés par la manipulatrice en radiologie.

c. Clichés photographique et radiographique

Pour la réalisation des clichés radiographiques, les règles de radioprotections ont été respectées, notamment grâce à la contention chimique des animaux. En effet, tous les examens radiographiques ont été réalisés sous anesthésie et donc en contention passive. Les personnes présentes dans la salle (derrière la vitre de plomb) étaient des personnes nécessaires à l'examen radiographique : une personne surveillant l'anesthésie, une personne réalisant le positionnement de l'animal et une personne prenant en photo le positionnement de l'animal.

Les incidences radiographiques ont été réalisées en fonction de la taille de l'animal et de ce qui était anatomiquement possible. En fonction des incidences réalisées, chaque positionnement a été pris en photo pour chaque animal, sauf exception. Les images photographiques des positions ont été prises avec un téléphone Google® pixel 4a puis avec un téléphone Google® pixel 7a.

3. Création de l'atlas photographique et radiographique

A. Traitement des clichés photographiques

Les clichés photographiques des positions ont été traités avec le logiciel Photos® sur un Mac®. Tous les clichés ont été recadrés en laissant peu de marge autour de l'animal, pour une meilleure lisibilité. Certaines images ont été pivotées puis retournées pour concorder avec les clichés radiographiques et respecter les conventions radiographiques. Un avant/après traitement est présenté ci-dessous à l'aide des Figure 82 et Figure 83.

Figure 82 : Cliché photographique d'une incidence oblique gauche de tête de lapin, avant traitement

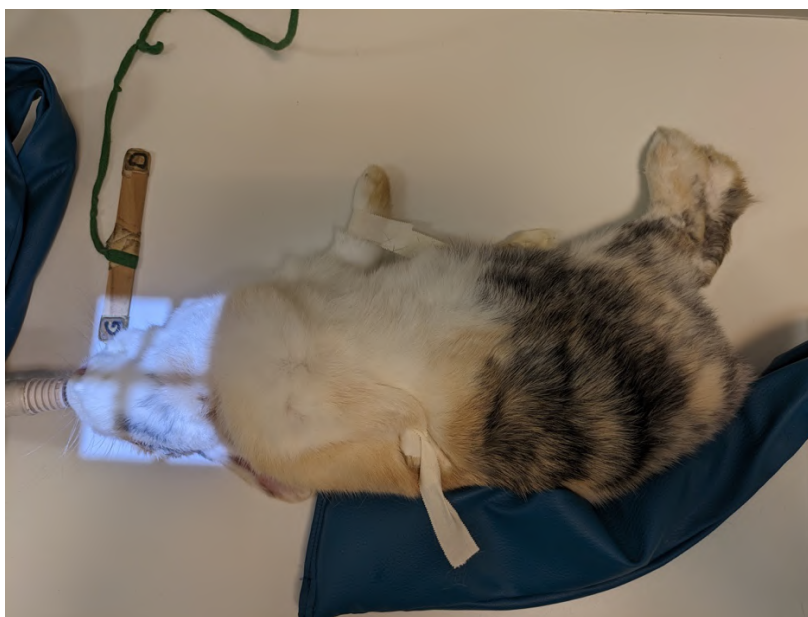


Figure 83 : Cliché photographique d'une incidence oblique gauche de tête de lapin, après traitement : un recadrage, deux pivotements et un retournement



Certains clichés sont compliqués à interpréter au vu de la couleur de l'animal et de sa pilosité. Pour le chinchilla par exemple, la couleur blanche de sa robe ne permettait pas un contraste optimal avec la table de radiographie, blanche elle aussi (Figure 84). Pour le cochon d'Inde, c'était un individu très poilu, avec un poil très dense : les positionnements ont été compliqués à réaliser et de même, les clichés radiographiques sont modérément interprétables.

Figure 84 : Cliché photographique d'incidence cranio-caudale de scapula de chinchilla après traitement.



Figure 85 : Cliché photographique d'incidence oblique droite de cochon d'Inde après traitement.



B. Traitement des clichés radiographiques

Les clichés radiographiques ont été exportés via un disque réseau et traités avec le logiciel Krita®.

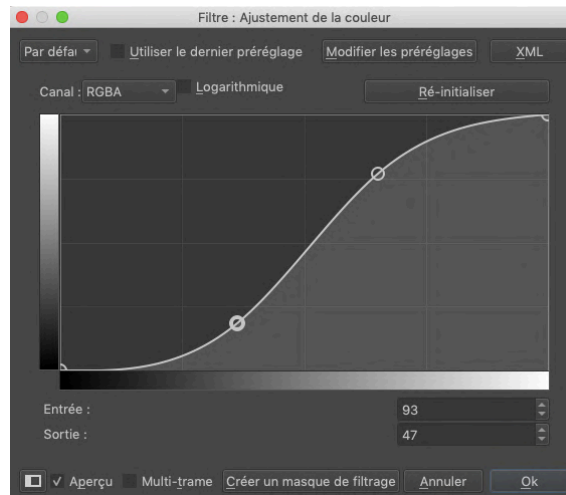
Ce logiciel a été choisi parmi un certain nombre d'autres solutions qui permettent d'appliquer des traitements sur l'image, notamment :

- Recadrer
- Améliorer la qualité (contraste, luminosité)
- Supprimer des parties textuelles
- Dessiner (détourer certaines zones, organes)
- Mettre du texte en annotation (flèches).

Ce logiciel a été choisi pour sa simplicité et facilité d'utilisation, parmi des solutions disponibles en standard ou open source accessibles facilement.

Le contraste a été modifié avec l'outil « courbe d'ajustement de la couleur », pour améliorer la lisibilité des clichés. On utilise une courbe de contraste « en S » qui permet d'augmenter la luminosité des parties claires, et de diminuer celle des parties sombres, renforçant l'impression de contraste (Figure 86). Les valeurs exactes sont adaptées à chaque cliché radiographique.

Figure 86 : Exemple de courbe « en S » permettant d'améliorer le contraste

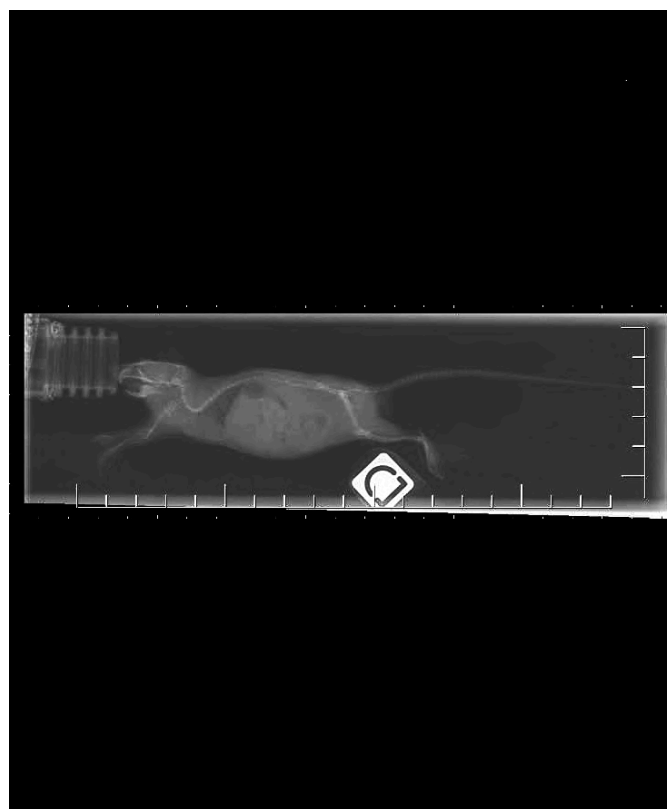


Les légendes ont été effacées sur les clichés, pour l'anonymat des animaux et de leur propriétaire, mais également pour une meilleure lisibilité. Sur certains clichés, un cadre noir a été rajouté pour pouvoir écrire les légendes dessus. Un exemple d'avant/après de traitement de cliché radiographique est présenté ci-dessous à l'aide des Figure 87 et Figure 88.

Figure 87 : Cliché radiographique latéro-latéral droit de corps entier de souris avant traitement (service d'Imagerie du ChuvA-Ac)



Figure 88 : Cliché radiographique latéro-latéral droit de corps entier de souris après traitement (service d'Imagerie du ChuvA-Ac) : augmentation du contraste et annotations effacées



C. Annotation des clichés radiographiques

Pour les clichés radiographiques de thorax, d'abdomen et corps entier, les organes ont été entourés avec un code couleur, puis légendés avec le même code couleur (Figure 89 et Tableau 14). Certains organes ont été entourés sans être vus, mais en respectant la radio-anatomie de l'espèce. Pour les clichés radiographiques de squelette appendiculaire et axial, les parties anatomiques ont été fléchées en jaune et légendées (Figure 90).

Figure 89 : Cliché radiographique ventro-dorsal légendé d'abdomen de rat (service d'Imagerie du ChuvA-Ac)

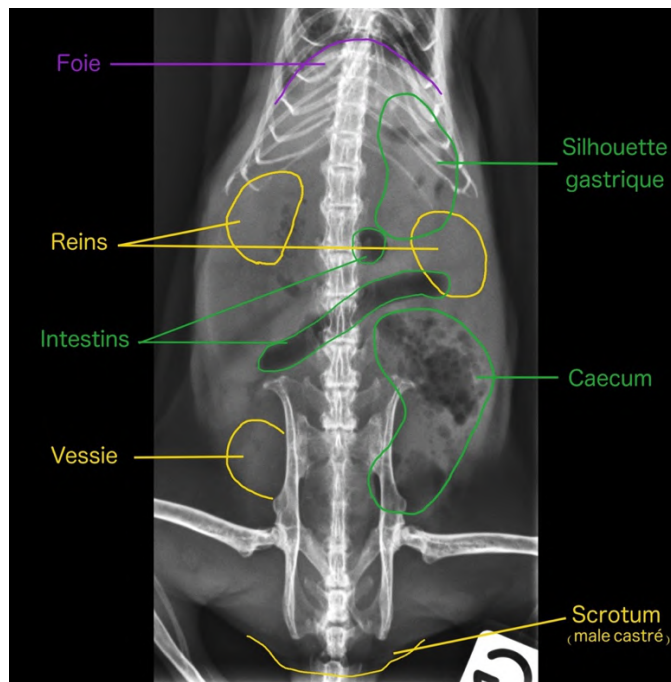


Figure 90 : Cliché radiographique médio-latéral légendé de radius/ulna de rat (service d'Imagerie du ChuvA-Ac)

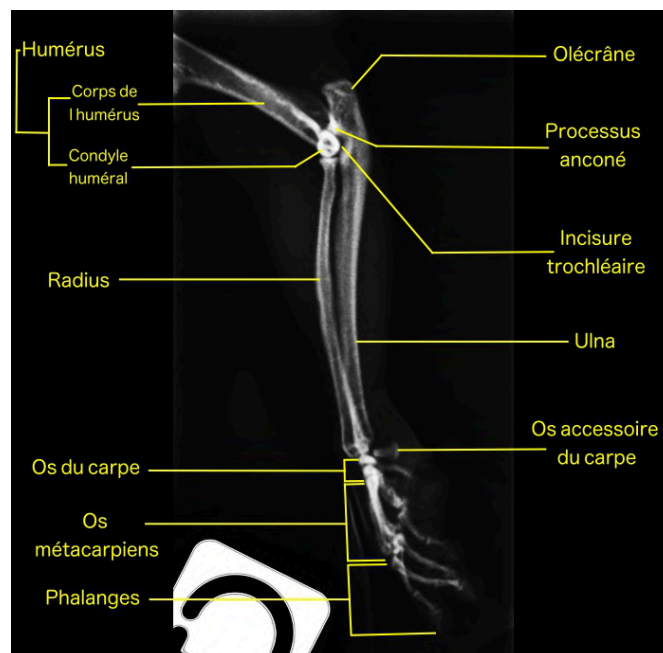


Tableau 14 : Code couleur utilisé dans l'atlas pour entourer les organes ou un ensemble d'organe

Organe ou ensemble d'organe	Code couleur associé
Poumons et trachée	Bleu
Silhouette cardiaque	Rouge
Diaphragme	Orange
Appareil digestif	Vert
Organes extra-digestif (foie, rate) et thymus	Violet
Appareil urinaire et génital	Jaune
Tissu adipeux	Blanc
Appareil osseux	Jaune

D. Organisation des clichés

Pour chaque incidence retenue on a donc un répertoire spécifique de travail qui va contenir les fichiers suivants :

- Cliché photographique :
 - Le fichier brut issu de la prise de vue
 - Le fichier traité recadré et amélioré
- Cliché radiographique :
 - Le fichier image brut issu de la séance de radiographie
 - Le fichier traité non légendé : amélioration du contraste, recadrage, élimination des informations textuelles
 - Le fichier traité et légendé

4. Création du contenu multimédia

A. Présentation de la plateforme numérique

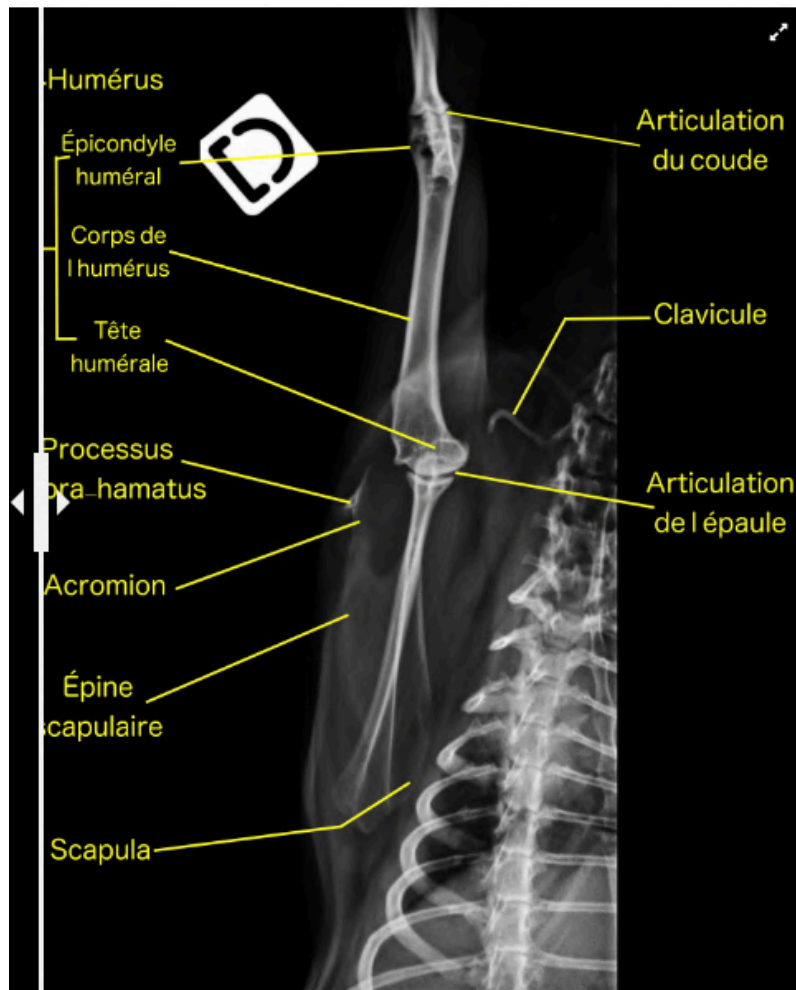
La création du site pédagogique a été réalisée avec l'aide de la direction des services d'information de l'école, afin d'intégrer l'atlas dans la section Thèses multimédia de la plateforme Eve. Cette plateforme est basée sur le logiciel Moodle, un logiciel open source dédié à l'apprentissage en ligne, permettant de créer des contenus de cours, y compris des objets interactifs en HTML5 (H5P). L'objectif principal de l'atlas était de permettre la présentation de la radiographie brute de l'animal, ainsi qu'une version annotée indiquant les zones d'intérêt du cliché. La présentation la plus simple aurait consisté à placer les deux images côte à côte, mais cela présentait deux inconvénients :

- La mise en page est difficile à réaliser, les deux images peuvent difficilement tenir sur un seul écran
- Les zones d'intérêts sont immédiatement révélées, l'étudiant n'est donc pas confronté d'abord à l'image brute qu'il pourrait avoir un jour à analyser.

Une présentation interactive a donc été choisie, dans un premier temps l'image brute s'affiche, puis, il est possible de superposer les annotations. Ainsi, l'étudiant qui consulte l'atlas est d'abord confronté à l'image brute, puis il peut être aidé avec les annotations qui lui révèlent les différentes parties à reconnaître.

Pour cette présentation en deux temps, il était possible d'utiliser différents modules techniques qui permettent de comparer deux images (l'image brute et l'image annotée). Ainsi, une première implémentation a été faite en utilisant le module « Image juxtaposition » qui permet de déplacer une barre verticale qui affiche l'une ou l'autre de l'image (Figure 91).

Figure 91 : Exemple d'affichage du module juxtaposition



Mais cette présentation a quelques inconvénients :

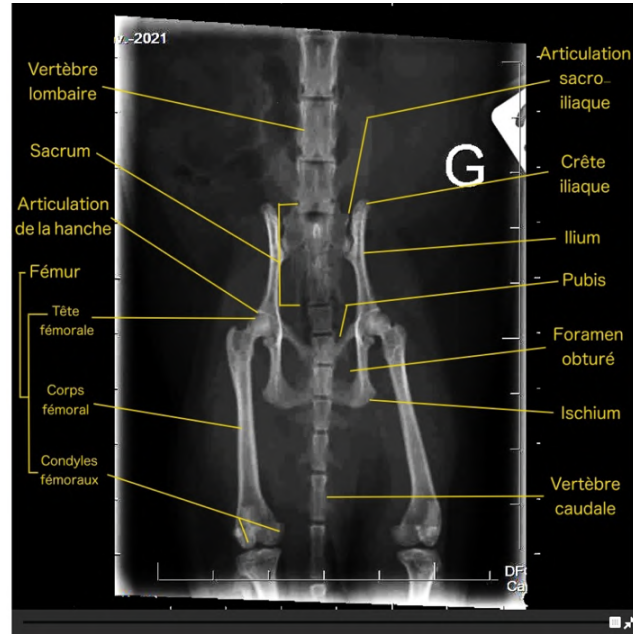
- Dans certains cas comme dans cette image, le déplacement de la barre s'arrête et masque certaines légendes.
- L'interaction est peu intuitive, la barre du curseur étant placée à droite est parfois peu visible.

Une deuxième présentation a donc été faite en utilisant le module « agamoto » qui présente l'avantage de pouvoir basculer en un clic sur l'image annotée et qui d'autre part présente une interaction plus évidente (comme le montrent la Figure 92 et la Figure 93).

Figure 92 : Exemple d'interaction avec le module « agamoto » : affichage brut, curseur à gauche



Figure 93 : Exemple d'interaction avec le module « agamoto » : affichage légendé, curseur déplacé vers la droite



B. Présentation du contenu pédagogique

Le support pédagogique a été réalisé sur une page Eve, dans l'onglet Thèse multimédia. La page est divisée en sous unités correspondant à chaque animal, et redivisée pour chaque incidence réalisée (Tableau 15).

Tableau 15 : Nombre de sous pages (d'incidence) par espèce

Espèce	Nombre de sous pages (d'incidence) par espèce
Furet	23
Lapin	21
Cochon d'Inde	22
Chinchilla	19
Rat	23
Souris	7

L'annexe 2 présente la page d'accueil du contenu pédagogique et l'annexe 3 présente le détail des incidences d'un animal (le furet ici).

Dans chaque sous division correspondant à une incidence d'un animal est affiché (voir annexe 4) :

- Un texte présentant le positionnement et le cadrage à effectuer pour obtenir le cliché radiographique voulu, ainsi que des critères d'évaluation d'un cliché de qualité
- Le cliché photographique du positionnement
- Un cliché radiographique non légendé, avec une animation permettant d'afficher manuellement le cliché radiographique légendé.

La réalisation d'une sous division correspondant à une incidence nécessite les étapes suivantes :

- Création d'un module H5P « agamoto », chargement dans ce module des deux clichés radiographiques (légendé et non légendé), paramétrage du module
- Création de la page Moodle, insertion du texte correspondant à l'incidence (positionnement, cadrage, évaluation).
- Chargement de l'image du cliché photographique de positionnement, mise à la bonne dimension.
- Insertion du contenu H5P dans la page Moodle

A la fin du contenu pédagogique se trouve une auto-évaluation constituée de questions qui permettent la validation des acquis, à la fois sur les cours de radio-anatomie et sur les connaissances développées dans le contenu. Cette auto-évaluation se compose actuellement de cinq questions qui sont des QCM et des vrai/faux. Elles concernent des points d'anatomie intéressants pour la lecture des clichés radiographiques. Cette auto-évaluation sera complétée en fonction des retours des étudiants concernant l'outil pédagogique.

5. Discussion

Nous détaillons ici les avantages qu'apporte l'outil, les difficultés rencontrées lors de sa réalisation ainsi que les limites de l'approche existante.

A. Intérêts de l'outil

La réalisation d'un tel outil pédagogique présente de nombreux intérêts pour les étudiants vétérinaires qui le consultent :

- La navigation est simplifiée par rapport à la consultation d'un livre ; la structuration en section dans le contenu Eve permet d'accéder directement aux zones d'intérêts.
- La présentation numérique des photos permet des rendus de haute qualité en grand format (possibilité de zoom en plein écran), à un coût accessible.
- L'interactivité, notamment l'animation cliché brut/cliché annoté, rend l'expérience engageante et simple pour comparer les clichés.
- La présentation en deux temps de clichés, sans montrer immédiatement les annotations, permet de mettre l'étudiant en situation de réflexion face au cliché radiographique.
- La juxtaposition du cliché photographique de positionnement avec les clichés de radiographie permet un parallèle rapide et efficace entre la pratique de la manipulation et le résultat radiographique attendu. Ceci a été rendu possible par le choix de refaire des clichés radiographiques (et non réutiliser des clichés existants).
- Enfin, l'évaluation interactive permet une validation directe des acquis et des connaissances restantes à acquérir.

B. Difficultés de mise en œuvre

La réalisation de l'outil a présenté un certain nombre de difficultés, notamment sur le plan de l'organisation des séances :

- Comme nous l'avons vu, la planification des séances de prise de vue présente une certaine difficulté pour concilier les disponibilités des équipements, du personnel impliqué, et des propriétaires des animaux.
- L'anesthésie étant presque indispensable pour réaliser ces examens, le recrutement des animaux a été conditionné par l'accord des propriétaires, et a donc significativement compliqué le processus, un nombre significatif de refus ayant été rencontrés.

Ces difficultés sont à prendre en compte dans la durée de réalisation d'un tel atlas, car les différents paramètres d'un tel planning ne sont pas maîtrisés. Par ailleurs, d'autres difficultés proviennent des outils utilisés :

- Tout d'abord, concernant le logiciel de traitement d'image, n'ayant pas de connaissance approfondie dans le domaine, le choix a pris un certain temps pour expérimenter différentes solutions jusqu'au résultat fini.
- L'acquisition de compétences sur ces logiciels de traitement d'image prend du temps.
- La fonction dessin du logiciel sélectionnée (Krita) n'est pas une solution « vectorielle », elle ne permet pas de modifier facilement les tracés précédemment créés, et nécessite l'utilisation de calques.
- Détourer des organes à l'aide de la souris n'offre pas un tracé très précis, et l'utilisation d'une tablette serait préférable pour ce type de travail.

D'autre part l'outil de la plateforme pédagogique Moodle, présente un certain nombre de difficultés qu'il faut prendre en compte :

- Tout d'abord, il faut compter un temps d'apprentissage pour prendre en main la plateforme. La réalisation des pages est assez simple, cependant les technologies telles que H5P, ou la réalisation de formulaires d'auto évaluation est assez complexe.
- Des tutoriels sont disponibles sur la plateforme, mais comme il existe plusieurs versions disponibles de Moodle les supports de formation ne sont pas forcément adaptés à la version utilisée sur la plateforme Eve.
- Notamment dans la version actuelle, la structure du contenu pédagogique ne semble pouvoir être formatée qu'en sections linéaires sans imbrication. Une hiérarchie dans les pages d'incidence rendrait le contenu plus lisible et facile à utiliser. Une solution est à l'étude pour essayer de structurer les incidences (thorax, abdomen, squelette appendiculaire, squelette axial) plutôt que d'avoir toutes les incidences alignées pour chaque animal.
- Enfin, la plateforme requiert beaucoup d'opérations manuelles, par exemple pour mettre une image à jour, il faut ré-ouvrir l'objet H5P pour le mettre à jour. Les modifications ou améliorations d'images *a posteriori* sont assez coûteuses.

La difficulté principale est donc qu'il s'agit d'un travail itératif, ou la réalisation de certaines étapes amène à revoir celle des précédentes.

C. Limites

Ce travail a soulevé des limites propres à l'examen radiographique des petits mammifères :

- Toutes les incidences ne sont pas anatomiquement réalisables pour chaque animal, elles ont donc été adaptées pour chaque animal dans ce travail.
- L'interprétation radiographique est complexe chez les NAC au vu de leur petite taille : certains organes ne sont pas visualisables si la qualité radiographique n'est pas satisfaisante. Cela a été le cas dans ce travail, il a été décidé de mettre les projections de certains organes qui n'étaient pas visibles.
- La qualité radiographique dépend beaucoup du matériel utilisé : les clichés radiographiques réalisés avec le second capteur plan étaient de meilleure qualité et donc plus facilement interprétables.

Ce travail voulant faciliter la compréhension des étudiants face à l'utilisation de l'examen radiographique des petits mammifères, il n'aborde pas les examens radiographiques plus complexes utilisant des produits de contraste tel que la myélographie ou l'urographie. Il pourrait être intéressant de réaliser un travail complémentaire sur ces sujets.

Conclusion

L'examen radiographique est un examen de routine en médecine des NAC tout autant que pour la médecine canine. Malgré sa similarité avec l'examen du chien et du chat, il présente des caractéristiques propres qu'il est important de connaître pour réaliser son interprétation de manière optimale. Ces points sont présentés lors du cursus d'étude vétérinaire à l'EnvA, mais méritent d'être approfondis pour être mieux intégrés. Cette thèse vétérinaire, à destination des étudiants vétérinaire, contribue à venir combler ce besoin d'approfondissement sur le sujet. Ce travail se concentre sur six animaux qui sont : le furet, le lapin, le cochon d'Inde, le chinchilla, le rat et la souris.

La première partie de cette thèse présente une synthèse bibliographique concernant l'examen radiographique des petits mammifères. Elle présente la méthodologie pour obtenir des clichés de bonne qualité, ce qui est capital pour ces espèces. Pour cela, elle présente d'abord la contention des animaux, puis leur anesthésie et les différents positionnements utilisés pour réaliser les incidences radiographiques. Finalement, la radio-anatomie des petits mammifères est présentée en insistant sur les points de divergence face à l'exercice canin.

La deuxième partie aborde la conception de l'objet multimédia. Sont présentés le recrutement des animaux, le matériel utilisé ainsi que la conception de la page web réalisée. Le contenu pédagogique contient un total de 115 pages présentant chacune une incidence, sa méthode de positionnement illustrée par un cliché photographique et un cliché radiographique avec annotations interactives. Une auto-évaluation est proposée à la fin de l'outil pédagogique. Par ailleurs, une discussion présente les avantages de l'outil proposé, les difficultés dans sa réalisation, ainsi que les limites de l'examen radiographique des petits mammifères.

Ce travail aborde uniquement l'examen radiographique sans utilisation de produit de contraste. Il faut signaler et garder à l'esprit que les examens radiographiques avec produit de contraste peuvent apporter des informations complémentaires à la médecine des petits mammifères. De plus, au vu des limites de ces examens, certaines pathologies seront plus facilement détectables à l'aide d'autres examens d'imagerie tels que l'échographie ou le scanner.

Liste des références bibliographiques

- ALLWEILER, S.I. (2016) How to Improve Anesthesia and Analgesia in Small Mammals. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice, Emergency and Critical Care* vol. 19, n° 2, p. 361-377. [<https://doi.org/10.1016/j.cvex.2016.01.012>]
- BALIKÇI DOROTEA, S., BANZATO, T., BELLINI, L., *et al.* (2016) Kidney Measures in the Domestic Rat: A Radiographic Study and a Comparison to Ultrasonographic Reference Values. *Journal of Exotic Pet Medicine* vol. 25, n° 2, p. 157-162. [<https://doi.org/10.1053/j.jepm.2016.03.011>]
- BANKS, R.E., SHARP, J.M., DOSS, S.D., *et al.* (2013) Exotic Small Mammal Care and Husbandry. Iowa, USA, John Wiley & Sons. [<https://doi.org/10.1002/9781119265405>]
- BERCKER, C., PIGNON, C. (2022) Contention et soins de base chez les NAC - Support de cours UC 215. Maisons-Alfort, ENVA.
- BOEHMER, E., CROSSLEY, D. (2009) Objective interpretation of dental disease in rabbits, guinea pigs and chinchillas: Use of anatomical reference lines. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere / Heimtiere* vol. 37, n° 04, p. 250-260. [<https://doi.org/10.1055/s-0038-1622802>]
- BRODBELT, D.C., BLISSITT, K.J., HAMMOND, R.A., *et al.* (2008) The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* vol. 35, n° 5, p. 365-373. [<https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2008.00397.x>]
- BULLIOT, C., FLENGHI, L. (2020) Imagerie dentaire du lapin de compagnie. *Le Point Vétérinaire* vol. 20, p. 20-25.
- CANTWELL, S.L. (2001) Ferret, rabbit, and rodent anesthesia. *The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice* vol. 4, n° 1, p. 169-191. [[https://doi.org/10.1016/s1094-9194\(17\)30056-7](https://doi.org/10.1016/s1094-9194(17)30056-7)]
- DIAS, S., ANSELMINI, C., ESPADA, Y., *et al.* (2021) Vertebral heart score to evaluate cardiac size in thoracic radiographs of 124 healthy rats (*Rattus norvegicus*). *Veterinary Radiology & Ultrasound: The Official Journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association* vol. 62, n° 4, p. 394-401. [<https://doi.org/10.1111/vru.12973>]
- DOSS, G.A., MANS, C., HOEY, S., *et al.* (2017) Vertebral heart size in chinchillas (*Chinchilla lanigera*) using radiography and CT. *Journal of Small Animal Practice* vol. 58, n° 12, p. 714-719. [<https://doi.org/10.1111/jsap.12715>]
- ENVF (2024) Sirius - Recherche avancée. In *Sirius*. [<https://www.sirius.envf.fr/recherche/visite>] (consulté le 21/05/2024).
- ESHAR, D., BRISCOE, J.A., MAI, W. (2013) Radiographic kidney measurements in North American pet ferrets (*Mustela furo*). *Journal of Small Animal Practice* vol. 54, n° 1, p. 15-19. [<https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2012.01270.x>]
- FACCO (2022) Les chiffres clés de la population animale en France. In *Facco*. [<https://www.facco.fr/chiffres-cles/les-chiffres-de-la-population-animale/>] (consulté le 21/05/2024).

- FLECKNELL, P. (2015) *Laboratory Animal Anaesthesia*, 4th ed. Saint Louis, Academic Press.
- FOX, J.G., MARINI, R.P. (2014) *Biology and Diseases of the Ferret*, 3th ed. Ames, Iowa, John Wiley & Sons. [<https://doi.org/10.1002/9781118782699>]
- GOIN, J. (2014) L'anesthésie générale des NAC. *Le Point Vétérinaire - Supplément ASV*, Ma Revue vol. 1593, n° 81, p. 12-15.
- GRACIS, M. (2008) Clinical Technique: Normal Dental Radiography of Rabbits, Guinea Pigs, and Chinchillas. *Journal of Exotic Pet Medicine, Dentistry* vol. 17, n° 2, p. 78-86. [<https://doi.org/10.1053/j.jepm.2008.03.004>]
- HECHT, S. (2020) *Diagnostic Radiology in Small Animal Practice*, 2th ed. Sheffield, 5m Books Ltd.
- HEGELEN, M., THIRIET, A. (2012) Atlas photographique de l'anatomie clinique des NAC (Petits mammifères à l'exception du furet). Thèse de médecine vétérinaire. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort.
- KRAUTWALD-JUNGHANNS, M.E., PEES, M., REESE, S., *et al.* (2010) *Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles*. Hannover, Germany, Schlutersche. [<https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2011.00824.x>]
- LEBAS, M. (2008) Atlas radiographique du furet (*Mustela putorius furo*). Thèse de médecine vétérinaire. Toulouse, École nationale vétérinaire de Toulouse.
- LONGLEY, L. (2008) *Anaesthesia of Exotic Pets*, *Anaesthesia of Exotic Pets*. Edinburgh, Saunders Elsevier. [<https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2888-5.50013-7>]
- MAQUET-LUCA, D. (2008) Manuel de positionnement radiographique - Support de cours UC 417. Maisons-Alfort, ENVA.
- MASOUDIFARD, M., ROSTAMI, A., SHAHMOHAMADI NODOLAGHI, M., *et al.* (2021) Development and evaluation of methods for vertebral heart score determination in guinea pig (*Cavia porcellus*). *Veterinary Research Forum: An International Quarterly Journal* vol. 12, n° 3, p. 357-360. [<https://doi.org/10.30466/vrf.2020.108629.2580>]
- MULHERIN, B.L. (2023) *Veterinary Oral Diagnostic Imaging*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons.
- O'MALLEY, B. (2005) *Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species: Structure and Function of Mammals, Birds, Reptiles, and Amphibians*. Edinburgh New York, Elsevier Saunders.
- ONUMA, M., KONDO, H., ONO, S., *et al.* (2009) Radiographic measurement of cardiac size in 64 ferrets. *The Journal of Veterinary Medical Science* vol. 71, n° 3, p. 355-358. [<https://doi.org/10.1292/jvms.71.355>]
- ONUMA, M., ONO, S., ISHIDA, T., *et al.* (2010) Radiographic Measurement of Cardiac Size in 27 Rabbits. *Journal of Veterinary Medical Science* vol. 72, n° 4, p. 529-531. [<https://doi.org/10.1292/jvms.09-0390>]
- PIGNON, C. (2022) Dentisterie chez le lapin - Support de cours UC 422. Maisons-Alfort, ENVA.
- PIGNON, C. (2020a) Examen clinique des NAC - Support de cours UC 316. Maisons-Alfort, ENVA.
- PIGNON, C. (2020b) Particularités radiographiques des NAC - Support de cours UC 316. Maisons-

Alfort, ENVA.

PIGNON, C. (2019) Contention des NAC - Support de cours UC 215. Maisons-Alfort, ENVA.

QUESENBERRY, K., MANS, C., ORCUTT, C. (2020) Ferrets, Rabbits and Rodents : Clinical Medicine and Surgery, 4th ed. St. Louis, Missouri, Elsevier Health Sciences.

ROBERT, C. (2022) Anatomie des NAC rat, lapin, cobaye, (chinchilla), furet - Support de cours UC 215. Maisons-Alfort, ENVA.

SCHEIDECKER, S. (2012) Anatomie clinique du furet : réalisation d'un atlas photographique. Thèse de médecine vétérinaire. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort.

SÉGALAT, G. (2012) Atlas radiographique du lapin: images normales et pathologiques. Thèse de médecine vétérinaire. Nantes, École nationale vétérinaire de Nantes.

SILVERMAN, S., TELL, L. (2004) Radiology of Rodents, Rabbits and Ferrets: An Atlas of Normal Anatomy and Positioning. St Louis, Elsevier Health Sciences.

SIROIS, M. (2022) Laboratory Animal and Exotic Pet Medicine Principles and Procedures, 3th ed. Saint Louis, Elsevier Health Sciences.

STEPIEN, R.L., BENSON, K.G., FORREST, L.J. (1999) Radiographic Measurement of Cardiac Size in Normal Ferrets. *Veterinary Radiology & Ultrasound* vol. 40, n° 6, p. 606-610. [<https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1999.tb00886.x>]

TURNER GIANNICO, A., AYRES GARCIA, D.A., LIMA, L., *et al.* (2015) Determination of Normal Echocardiographic, Electrocardiographic, and Radiographic Cardiac Parameters in the Conscious New Zealand White Rabbit. *Journal of Exotic Pet Medicine, Backyard Poultry* vol. 24, n° 2, p. 223-234. [<https://doi.org/10.1053/j.jepm.2015.04.013>]

VENNEN, K.M., MITCHELL, M.A. (2009) CHAPTER 14 - RABBITS. In Mitchell, M.A., Tully, T.N. (Éd.), *Manual of Exotic Pet Practice*. Saint Louis, W.B. Saunders, p. 375-405. [<https://doi.org/10.1016/B978-141600119-5.50017-2>]

WENGER, S. (2012) Anesthesia and Analgesia in Rabbits and Rodents. *Journal of Exotic Pet Medicine, Clinical Anesthesia and Analgesia* vol. 21, n° 1, p. 7-16. [<https://doi.org/10.1053/j.jepm.2011.11.010>]

WINN, A. (2006) Atlas radiographique du lapin de compagnie. Thèse de médecine vétérinaire. Toulouse, École nationale vétérinaire de Toulouse.

Annexe 1 – Objectifs d'apprentissage de l'examen radiographique des NAC (UC 316)

Particularités radiographiques des NAC

- (A) **Positionner** correctement un furet, lapin, cobaye, rat pour prendre un cliché radiographique
- (A) **Reconnaitre** sur une radiographie le cœur, les poumons, le foie, l'estomac, les anses intestinales, le caecum (lapin, cobaye), les reins, la vessie chez un furet, lapin, cobaye, rat
- (B) **Positionner** correctement un petit rongeur, oiseau, reptile pour prendre un cliché radiographique
- (B) **Reconnaitre** sur une radiographie le cœur, les poumons, le foie, l'estomac, les anses intestinales, les reins, la vessie (pour les espèces qui en ont une) chez un petit rongeur, oiseau, reptile
- (B) **Expliquer** le choix des constantes et du matériel en fonction des facteurs limitants chez les petits mammifères, reptiles et oiseaux ;

Annexe 2 – Copie d'écran de la page d'accueil du contenu pédagogique

Accueil Tableau de bord Plus v

Mode d'édition

Messages Annonces

Fiche Demande Création page Eve pour Thèse V2 LAMY Marine Achèvement v

Instruction : un clic sur le titre de la section affiche ou masque cette section

- ▶ **Généralités** Section 1
- ▶ **Furet** Section 2
- ▶ **Lapin** Section 3
- ▶ **Cochon d'Inde** Section 4
- ▶ **Chinchilla** Section 5
- ▶ **Rat** Section 6
- ▶ **Souris** Section 7
- ▶ **Auto-évaluation** Section 8

?

Annexe 3 – Copie d'écran des incidences d'un animal (furet)

Accueil Tableau de bord Plus ▾

PDF Fiche Demande Creation page Eve pour These v2 LAMM Manne **Achievement**

Instruction : un clic sur le titre de la section affiche ou masque cette section

- ▶ Généralités Section 1
- ▼ Furet Section 2

- H-P Incidence ventro-dorsale de bassin de furet
- H-P Incidence médio-latérale d'humérus de furet
- H-P Incidence cranio-caudale de main de furet
- H-P Incidence cranio-caudale de radius, ulna et coude de furet
- H-P Incidence cranio-caudale de membre pelvien de furet
- H-P Incidence médio-latérale de membre pelvien de furet
- H-P Incidence latéro-latérale de rachis caudal de furet
- H-P Incidence ventro-dorsale de rachis cervical de furet

?

Annexe 4 – Copie d'écran d'une page présentant une incidence

Accueil Tableau de bord Mes cours Scolarité Plus Mode d'édition

Atlas radioanatomique chez les petits mammifères / Furet / Incidence crano-caudale de radius, ulna et coude de furet

HSP Incidence crano-caudale de radius, ulna et coude de furet

HSP Paramètres Rapport des tentatives Plus

Positionnement

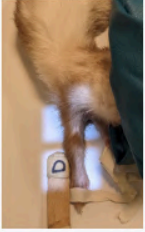
L'animal est placé en décubitus sternal. Le membre thoracique à radiographier est tiré crânialement et la scapula, l'humérus, le radius et la main sont placés dans le même axe. Les membres pelviens sont tournés vers le côté opposé. La tête et le membre controlatéral sont également tournés du côté opposé.

Cadrage

On cadre le faisceau lumineux sur le centre du radius et de l'ulna. Le carpe et le coude sont inclus.

Évaluation du cliché

Il convient de voir le radius et l'ulna ainsi que les articulations du coude et du carpe en entier. L'olécrâne se superpose au milieu du condyle huméral.



Incidence crano-caudale de radius, ulna et coude de furet



ATLAS RADIO-ANATOMIQUE CHEZ LES PETITS MAMMIFÈRES : CRÉATION D'UN OUTIL PÉDAGOGIQUE MULTIMÉDIA

AUTEUR : Marine LAMY

RÉSUMÉ :

Ce travail consiste en la réalisation d'un atlas pédagogique multimédia sur la radio-anatomie des petits mammifères. Il s'agit d'apporter un complément pédagogique aux étudiants vétérinaires qui seront de plus en plus amenés à donner des soins à ces espèces, alors qu'ils n'ont que peu d'heures de cours consacrées spécifiquement à leur examen radiographique.

Une première partie présente une synthèse bibliographique de la méthode utilisée pour obtenir des clichés radiographiques de qualité de six espèces. Ces dernières ont été sélectionnées parmi les plus fréquentes en visite au service NAC du Centre hospitalier universitaire vétérinaire d'Alfort Animaux de compagnie. Les techniques de contention et de radiographie sont tout d'abord présentées et explicitées, ainsi que le positionnement de chaque animal pour les différentes incidences. Les principaux points d'intérêts concernant la radio-anatomie des petits mammifères sont ensuite détaillés.

La deuxième partie expose la réalisation elle-même de l'atlas en ligne, dont le but est de présenter sur une même page un cliché photographique du positionnement, le cliché radiographique, ainsi que les annotations la commentant. Les techniques utilisées pour améliorer la qualité des clichés sont abordées ; les choix technologiques sont également expliqués pour arriver à une solution interactive permettant de présenter les annotations à la demande.

Enfin, une autoévaluation permet de valider directement les acquis.

Une discussion présente les intérêts et limites de cette approche, ainsi que des pistes potentielles d'évolution.

MOTS CLÉS :

OUTIL PÉDAGOGIQUE / MULTIMÉDIA / ATLAS RADIOGRAPHIQUE / RADIO-ANATOMIE / ENSEIGNEMENT VÉTÉRINAIRE / NAC / FURET / LAPIN / COCHON D'INDE / CHINCHILLA / RAT / SOURIS

JURY :

Président : Pr Henry CHATEAU

Directeur de thèse : Dr Charly PIGNON

Examineur : Dr Jérémy MORTIER

SMALL MAMMALS RADIOANATOMY ATLAS: DESIGN OF A MULTIMEDIA EDUCATIONAL TOOL

AUTHOR: Marine LAMY

SUMMARY:

The goal of this work was to create a multimedia educational atlas on the radioanatomy of small mammals. The aim was to provide additional educational support to veterinary students who will increasingly be required to provide care for such species but have only a few hours of lectures specifically dedicated to diagnostic imaging.

The first section presented a literature review on how to perform high-quality radiographic images of six species. These species have been selected according to the number of cases seen in Alfort Teaching Hospital. The animal's restraint and radiography technics were presented and explained, together with the correct positioning of each animal for each angle. The main points of interest regarding radioanatomy of small mammals were then detailed.

The second section detailed the design of the online educational atlas, intended to show on the same page a picture of the positioning and the corresponding radiography together with some annotated comments. The techniques used to improve the images quality were discussed, and the technical choices were also explained to get an interactive solution that allow annotations to be displayed on demand. In addition, a self-evaluation test is proposed to directly validate acquired knowledge.

The discussion outlined the advantages and limitation of this approach and propose some potential improvements.

KEYWORDS:

EDUCATIONAL TOOL / MULTIMEDIA / RADIOGRAPHY ATLAS / RADIOANATOMY / VETERINARY TEACHING / EXOTIC ANIMALS / FERRET / RABBIT / GUINEA PIG / CHINCHILLA / RAT / MOUSE

JURY:

Chairperson: Pr Henry CHATEAU

Thesis Director: Dr Charly PIGNON

Reviewer: Dr Jérémy MORTIER