



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

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25829

**To cite this version:**

Richard, Elodie  and Toniolo, Amélie . *Evaluation morphométrique et échographique de la croissance du chiot au cours des deux premiers mois de vie*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2019, 107 p.

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

# EVALUATION MORPHOMETRIQUE ET ECHOGRAPHIQUE DE LA CROISSANCE DU CHIOT AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**Elodie RICHARD**

Née, le 03 Septembre 1993 à Clermont-Ferrand (63)

et

**Amélie TONIOLO**

Née, le 04 Janvier 1993 à Metz (57)

---

**Directeur de thèse : Mme Sylvie CHASTANT-MAILLARD**

---

## JURY

PRESIDENT :

**Mr Christophe VAYSSIERE**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**Mme Sylvie CHASTANT-MAILLARD**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Mme Hanna MILA**

Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITES :

**Mme Amélie MUGNIER**

Docteur Vétérinaire à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Mme Catherine LAYSSOL-LAMOUR**

Docteur Vétérinaire à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



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

**Directeur** : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

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

**PROFESSEURS 1<sup>o</sup> CLASSE**

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

**PROFESSEURS 2<sup>o</sup> CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

**PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

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

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE**

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

Mise à jour au 01/11/2019

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
 M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
 M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*  
 M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
 M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
 Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*  
 Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*  
 M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

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

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
 Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
 Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
 Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
 M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
 M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*  
 Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*  
 Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
 Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*  
 M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
 Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
 Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*  
 Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*  
 Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
 M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
 M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
 Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
 Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
 M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*  
 Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
 Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*  
 M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales réglementées*  
 Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS**

- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
 M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*  
 Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*  
 Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*  
 M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

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

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

## REMERCIEMENTS

Au président du jury de thèse,

**À Monsieur le Professeur Christophe VAYSSIÈRE,**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,  
Hommage respectueux.

Au jury de thèse,

**À Madame le Professeur Sylvie CHASTANT-MAILLARD,**

Professeur de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Pathologie de la reproduction*

Qui nous a fait l'honneur de diriger cette thèse. Sincère reconnaissance pour nous avoir confié ce sujet, nous avoir accordé sa confiance, son soutien et son aide tout au long de la réalisation de cette thèse.

**À Madame le Docteur Hanna MILA,**

Maître de Conférences de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Pathologie de la reproduction*

Qui a accepté le rôle d'assesseur de cette thèse.  
Sincères remerciements.

**À Madame le Docteur Catherine LAYSSOL-LAMOUR,**

Praticien hospitalier à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Imagerie Médicale*

Pour son soutien et son investissement dans la mise en place du protocole et la concrétisation de ce travail.  
Un très grand merci.

**A Madame le Docteur Amélie MUGNIER,**

Ingénieur de Recherches à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Neocare*

Pour son aide, sa disponibilité et son implication dans le traitement statistique des données.  
Sincères remerciements.



# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	5
TABLE DES MATIERES .....	7
LISTE DES ABREVIATIONS .....	9
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	10
LISTE DES TABLEAUX .....	13
LISTE DES ANNEXES .....	14
INTRODUCTION .....	15
<b>I. Matériels et méthodes .....</b>	<b>17</b>
<b>A. Animaux .....</b>	<b>17</b>
1. Elevage.....	17
2. Cheptel .....	17
3. Hébergements : maternité et nurserie .....	17
4. Conduite d'élevage.....	17
<b>B. Protocole expérimental .....</b>	<b>19</b>
1. Collecte des données.....	19
2. Création de la base de travail .....	21
3. Etude de la variabilité.....	24
<b>C. Traitement des données récoltées .....</b>	<b>25</b>
1. Dictionnaire des variables .....	26
2. Etude statistique.....	26
<b>II. Résultats.....</b>	<b>29</b>
<b>A. Description générale de la population.....</b>	<b>29</b>
1. Population initiale .....	29
2. Critères d'exclusion .....	30
<b>B. Protocole expérimental .....</b>	<b>31</b>
1. Etude de la variabilité.....	31
2. Suivi de température rectale à deux jours d'âge .....	31
<b>C. Effet de l'âge sur les paramètres qualitatifs.....</b>	<b>32</b>
1. À deux jours d'âge .....	32
2. À une semaine d'âge .....	34
3. À deux semaines d'âge .....	34
4. À trois semaines d'âge.....	35
5. À un mois d'âge .....	35
6. À deux mois d'âge .....	35

<b>D. Effet de l'âge sur les paramètres quantitatifs .....</b>	<b>38</b>
1. Paramètres de morphométrie externe .....	38
2. Foie .....	40
3. Reins .....	41
4. Rate.....	47
5. Muqueuse intestinale.....	47
<b>E. Gain journalier des paramètres morphométriques et des dimensions des organes.....</b>	<b>48</b>
1. Paramètres morphométriques.....	48
2. Gain journalier des dimensions des organes.....	48
<b>F. Corrélation entre la morphométrie externe et les dimensions des organes .....</b>	<b>50</b>
<b>G. Effet du poids de naissance.....</b>	<b>51</b>
1. Paramètres morphométriques.....	51
2. Foie .....	54
3. Reins .....	55
4. Rate.....	57
<b>H. Effet du sexe .....</b>	<b>57</b>
1. Paramètres morphométriques.....	57
2. Reins .....	58
3. Effet du sexe sur les autres dimensions des organes.....	59
<b>I. Bilan : Valeurs usuelles des dimensions des organes abdominaux.....</b>	<b>60</b>
<b>III. Discussion.....</b>	<b>63</b>
<b>A. Matériels et méthodes .....</b>	<b>63</b>
1. Animaux sélectionnés.....	63
2. Images et mesures réalisées .....	64
3. Innocuité de l'examen échographique : suivi de température .....	66
4. Traitement des données .....	66
<b>B. Résultats.....</b>	<b>67</b>
1. Paramètres qualitatifs .....	67
2. Morphométrie.....	73
3. Paramètres quantitatifs relatifs aux organes échographiés .....	74
4. Gain journalier des paramètres morphométriques et des différents organes.....	78
5. Corrélation entre la morphométrie externe et les dimensions des organes.....	78
6. Effet du poids de naissance.....	80
7. Effet du sexe .....	83
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>86</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>91</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

Bb = *Bordetella bronchiseptica*

C : Maladie de Carré

D : Droite

G : Gauche

H : Hépatite de Rubarth

L : Leptospirose

NL : Nœud lymphatique

NS : Non significatif

Pi : Parainfluenza

P : Parvovirose

PPDN : Petit poids de naissance

Q : Quartile

RC : Royal Canin

RCIU : retard de croissance intra-utérin

SD : Standard deviation (écart-type)

TMPS : Triméthoprim Sulfamide

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : REALISATION DES MESURES MORPHOMETRIQUES. (A) : MESURE DE LA CIRCONFERENCE DE LA TETE, (B) : MESURE DE LA CIRCONFERENCE DU THORAX, (C) : MESURE DE LONGUEUR OS OCCIPITAL-CROUPE. ....	19
FIGURE 2 : MESURE DE LA SURFACE DU LOBE HEPATIQUE MEDIAL GAUCHE A L'AIDE DU CALIPER CHEZ UN CHIOT DE 2 JOURS. ....	22
FIGURE 3 : MESURES ECHOGRAPHIQUES DES REINS, REALISEES EN COUPES SAGITTALE ET TRANSVERSALE. ....	23
FIGURE 4 : (A) MESURE DE LA LONGUEUR ET DE LA HAUTEUR DU REIN GAUCHE EN COUPE SAGITTALE CHEZ UN CHIOT DE 2 JOURS (D1 REPRESENTE LA LONGUEUR ET D2 LA HAUTEUR). (B) MESURE DE LA LONGUEUR ET DE LA HAUTEUR DU REIN GAUCHE EN COUPE TRANSVERSALE, CHEZ UN CHIOT DE 35 JOURS (D1 REPRESENTE LA HAUTEUR ET D2 LA LONGUEUR). ....	23
FIGURE 5 : MESURE DE L'ÉPAISSEUR DE LA RATE, CHEZ UN CHIOT DE 56 JOURS. ....	23
FIGURE 6 : (A) MESURE DE L'ÉPAISSEUR DE LA MUQUEUSE INTESTINALE EN COUPE LONGITUDINALE (A) ET EN COUPE TRANSVERSALE (B), CHEZ UN CHIOT DE 56 JOURS. ....	24
FIGURE 7 : DEFINITION DES QUARTILES DE POIDS DE NAISSANCE ....	25
FIGURE 8 : DIAGRAMME DE FLUX DE LA POPULATION DE L'ÉTUDE. ....	30
FIGURE 9 : COUPE LONGITUDINALE DU REIN GAUCHE : LE CORTEX DU REIN GAUCHE EST ISOECHOGENE PAR RAPPORT AU PARENCHYME SPLENIQUE CHEZ UN CHIOT DE 2 JOURS. ....	32
FIGURE 10 : COUPE LONGITUDINALE DU REIN GAUCHE : DIFFERENCIATION DU CORTEX RENAL EN DEUX COUCHES CHEZ UN CHIOT DE 2 JOURS. ....	32
FIGURE 11 : COUPE TRANSVERSALE D'ANSE DIGESTIVE : PAROI NON DIFFERENCIEE CHEZ UN CHIOT AGE DE 7 JOURS. ....	32
FIGURE 12 : ÉPANCHEMENT PERITONEAL SITUE DORSALEMENT A LA VESSIE ....	32
FIGURE 13 : DILATATION PYELIQUE CHEZ UN CHIOT AGE DE 20 JOURS ....	32
FIGURE 14 : EVOLUTION DU POURCENTAGE DE CHIOTS AYANT OU NON DE L'ÉPANCHEMENT PERITONEAL AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE. (N=50).....	32
FIGURE 15 : EVOLUTION DU POURCENTAGE DE CHIOTS PRESENTANT UNE DILATATION PYELIQUE AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE CHEZ L'ENSEMBLE DES CHIOTS.(N=50).....	32
FIGURE 16 : COUPE LONGITUDINALE DU REIN GAUCHE ET DE LA RATE. LE CORTEX DU REIN GAUCHE EST HYPOECHOGENE PAR RAPPORT AU PARENCHYME SPLENIQUE.....	34
FIGURE 17 : EVOLUTION DE L'ECHOGENICITE DU CORTEX DU REIN GAUCHE PAR RAPPORT AU PARENCHYME SPLENIQUE AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE. (N=50).....	37
FIGURE 18 : RATE LEOPARDEE CHEZ UN CHIOT DE 56 JOURS.....	36
FIGURE 19 : VISUALISATION DE LA STRUCTURE EN 4 COUCHES DE LA PAROI D'UNE ANSE DIGESTIVE EN COUPE TRANSVERSALE CHEZ UN CHIOT DE 56 JOURS.....	36

FIGURE 20 : NŒUD LYMPHATIQUE JEJUNAL CHEZ UN CHIOT DE 56 JOURS .....	36
FIGURE 21 : CORTEX DU REIN DROIT ISOECHOGENE PAR RAPPORT AU PARENCHYME HEPATIQUE CHEZ UN CHIOT DE 21 JOURS.....	36
FIGURE 22 : EVOLUTION DE LA LOCALISATION DE L'EPANCHEMENT PERITONEAL AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE CHEZ L'ENSEMBLE DES CHIOTS (N=50).....	37
FIGURE 23 : EVOLUTION DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES (POIDS, CIRCONFERENCE DE LA TETE, LONGUEUR OS OCCIPITAL-CROUPE, CIRCONFERENCE DU THORAX, VOLUME CORPOREL) AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE. (N=50).....	39
FIGURE 24 : EVOLUTION DE LA SURFACE DE LA COUPE DU LOBE HEPATIQUE (LOBE MEDIAL GAUCHE) AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE. (N=50) .....	40
FIGURE 25 : EVOLUTION DU RATIO ENTRE LA SURFACE DE LA COUPE DU LOBE HEPATIQUE ET LE POIDS. (N=50).....	40
FIGURE 26 : EVOLUTION COMPAREE DE LA LONGUEUR DES REINS DROIT ET GAUCHE. (N=50).....	41
FIGURE 27 : EVOLUTION DE LA DIFFERENCE DE LONGUEUR ENTRE LES DEUX REINS EN COUPE LONGITUDINALE AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE. (N=50) .....	42
FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE LA LONGUEUR DU REIN DROIT ET DU REIN GAUCHE EXPRIMEE EN POURCENTAGE DE LA LONGUEUR DU REIN GAUCHE. (N=50) .....	43
FIGURE 29 : EVOLUTION DU RATIO ENTRE LA LONGUEUR DU REIN GAUCHE EN COUPE SAGITTALE ET LA LONGUEUR OS OCCIPITAL-CROUPE. (N=50).....	44
FIGURE 30 : EVOLUTION COMPAREE DU VOLUME DES REINS DROIT ET GAUCHE. (N=50) .....	46
FIGURE 31 : EVOLUTION DU RATIO ENTRE LE VOLUME RENAL TOTAL ET LE POIDS CORPOREL. (N=50) .....	46
FIGURE 32 : EVOLUTION DU RATIO ENTRE LE VOLUME RENAL TOTAL ET LE VOLUME CORPOREL DU CHIOT. (N=50).....	46
FIGURE 33 : EVOLUTION DE L'EPAISSEUR DE LA RATE. (N=50).....	47
FIGURE 34 : EVOLUTION DE L'EPAISSEUR DE LA MUQUEUSE INTESTINALE EN COUPE TRANSVERSALE (GRAPHIQUE A GAUCHE) ET EN COUPE LONGITUDINALE (GRAPHIQUE A DROITE). (N=50).....	47
FIGURE 35 : GAINS JOURNALIERS DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES (N=50).....	49
FIGURE 36 : GAINS JOURNALIERS DES ORGANES (N=50) .....	49
FIGURE 37 : EVOLUTION COMPAREE DU POIDS CHEZ LES CHIOTS A POIDS DE NAISSANCE NORMAL ET CHEZ LES CHIOTS A PETIT POIDS DE NAISSANCE. (N=50) .....	51
FIGURE 38 : EVOLUTION COMPAREE DE LA CIRCONFERENCE DE LA TETE, DE LA LONGUEUR OS OCCIPITAL-CROUPE, DE LA CIRCONFERENCE DU THORAX, DU VOLUME CORPOREL EN FONCTION DU POIDS DE NAISSANCE (NORMAL OU PETIT POIDS DE NAISSANCE). (N=50).....	52
FIGURE 39 : EVOLUTION COMPAREE DU RATIO ENTRE LA CIRCONFERENCE DE LA TETE ET LE POIDS EN FONCTION DU POIDS DE NAISSANCE (NORMAL OU PETIT POIDS DE NAISSANCE). (N=50).....	53
FIGURE 40 : EVOLUTION COMPAREE DE LA SURFACE DE LA COUPE DU LOBE HEPATIQUE CHEZ LES CHIOTS EN FONCTION DU POIDS DE NAISSANCE (NORMAL OU PETIT POIDS DE NAISSANCE). (N=50).....	54

FIGURE 41 : EVOLUTION COMPAREE DU RATIO ENTRE LA CIRCONFERENCE DE LA TETE ET LA SURFACE DU LOBE HEPATIQUE. (N=50) ..	55
FIGURE 42 : EVOLUTION DU VOLUME RENAL TOTAL SELON LE POIDS DE NAISSANCE. (N=50) .....	56
FIGURE 43 : EVOLUTION COMPAREE DU RATIO ENTRE LE VOLUME RENAL TOTAL ET LE VOLUME CORPOREL DU CHIOT SELON LE POIDS DE NAISSANCE. (N=50).....	56
FIGURE 44 : EVOLUTION COMPAREE DE LA CIRCONFERENCE DE LA TETE CHEZ LES MALES ET LES FEMELLES. (N=50).....	57
FIGURE 45 : EVOLUTION COMPAREE DU VOLUME DU REIN GAUCHE A GAUCHE ET DU VOLUME DU REIN DROIT A DROITE CHEZ LES MALES ET LES FEMELLES. (N=50).....	58
FIGURE 46 : EVOLUTION COMPAREE DU VOLUME RENAL TOTAL CHEZ LES MALES ET LES FEMELLES. (N=50) .....	59

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PARAMETRES PRIS EN COMPTE DANS L'ANALYSE STATISTIQUE UNIVARIEE .....	27
TABLEAU 2 : RECAPITULATIF DE LA POPULATION INITIALE .....	29
TABLEAU 3 : COEFFICIENTS DE CORRELATION LINEAIRE (R) ENTRE LES DIFFERENTES DIMENSIONS DES ORGANES ET LES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES ET L'AGE. (N=50).....	50
TABLEAU 4 : COEFFICIENTS DE CORRELATION LINEAIRE (R) ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES MORPHOMETRIQUES ET L'AGE. (N=50) .....	50
TABLEAU 5 : MOYENNE ET ECART TYPE (SD) DES DIFFERENTS PARAMETRES EN FONCTION DE LA CATEGORIE DE POIDS DE NAISSANCE	51
TABLEAU 6 : VALEURS USUELLES POUR LES PARAMETRES DE MORPHOMETRIE EXTERNE .....	60
TABLEAU 7 : VALEURS USUELLES POUR LES DIFFERENTES DIMENSIONS DES REINS.....	61
TABLEAU 8 : VALEURS USUELLES POUR LE FOIE ET LA RATE.....	62
TABLEAU 9 : EPAISSEUR DES MUQUEUSES DUODENALES ET JEJUNALES MESUREES A L'ECHOGRAPHIE CHEZ LE CHIOT DE 4 A 16 SEMAINES D'AGE, COMPAREE A L'EPAISSEUR MESUREE DANS CETTE ETUDE.....	77
TABLEAU 10 : COEFFICIENTS DE CORRELATION POLYNOMIALE (R) DES DIFFERENTES DIMENSIONS DES ORGANES, OBTENUES PAR ECHOGRAPHIE CHEZ DES ENFANTS DE 5 JOURS A 16 ANS (N=299 POUR LA RATE, N=279 POUR LES REINS, N=307).....	79

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : ORGANISATION DE CHAQUE EXAMEN ECHOGRAPHIQUE .....	92
ANNEXE 2 : TABLEAU D'ÉVALUATION INDIVIDUELLE DU CHIOT .....	93
ANNEXE 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DE LA CONDUITE D'ÉLEVAGE .....	94
ANNEXE 4 : TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ÉVOLUTION SENSORIELLE ET QUALITATIVE DES CHIOTS DURANT LES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE.....	95
ANNEXE 5 : SUIVI DE TEMPERATURE RECTALE CHEZ LES CHIOTS DE 2 JOURS D'ÂGE AVANT ET APRES EXAMEN ECHOGRAPHIQUE.....	96
ANNEXE 6 : IMAGES ECHOGRAPHIQUES DES ANOMALIES OBSERVEES DURANT LES EXAMENS ECHOGRAPHIQUES.....	97
ANNEXE 7 : TABLEAU RECAPITULATIF DES SIGNIFICATIVITES.....	101
ANNEXE 8 : NUAGES DE POINTS, DROITES DE REGRESSION LINEAIRE ET COEFFICIENTS DE REGRESSION ASSOCIES.....	104
ANNEXE 9 : VALEURS USUELLES POUR LES PARAMETRES DE MORPHOMETRIE EXTERNE .....	105
ANNEXE 10 : VALEURS USUELLES POUR LES DIFFERENTES DIMENSIONS DES REINS .....	106
ANNEXE 11 : VALEURS USUELLES POUR LE FOIE ET LA RATE .....	107

## INTRODUCTION

L'échographie est une technique d'imagerie médicale incontournable en médecine vétérinaire. Son utilisation, en complément de la radiographie, fournit une évaluation rapide, non invasive et sans risque des organes abdominaux, aussi bien de leurs dimensions, que de leur aspect, ce qui en fait un outil de diagnostic et de suivi très utile (Baker et Davidson 2006). L'aspect échographique et la taille des organes chez le chien adulte ont été rapportés dans de nombreuses études et pour de nombreuses races, autorisant l'interprétation des images observées (Konde et al. 1984 ; Barr et al. 1990 ; Barr 1992 ; Barrera et al. 2009).

Chez le chiot, au contraire, les données échographiques sont encore rares, ce qui limite fortement l'évaluation échographique des organes, en particulier dans les premières semaines de vie (England 1996 ; Stander et al. 2010b ; Banzato et al. 2017). Pourtant, la faible proportion de tissu adipeux chez le chiot favorise le diagnostic par échographie : elle améliore la qualité des images. Pourtant, c'est cette même proportion de tissu adipeux qui provoque une perte de contraste sur les clichés radiographiques, rendant ainsi la radiographie moins informative chez les chiots (Baker et Davidson 2006). De plus, le faible volume de l'animal facilite la visualisation de l'ensemble des organes abdominaux.

L'échographie pourrait ainsi constituer une technique utile en élevage canin et lors de l'examen clinique avant achat en permettant la mise en évidence des affections, notamment des malformations, avant la vente du chiot. Cet examen permettrait également une détection précoce des maladies infectieuses et une surveillance accrue des individus à risque élevé de mortalité néonatale. Il s'agit notamment des chiots naissant avec un petit poids de naissance (Mila et al. 2015 ; Mugnier et al. 2019). Un petit poids de naissance (PPDN) peut être la conséquence d'un retard de croissance intra utérin (RCIU) ou de facteurs génétiques (CNGOF 2010).

Lorsqu'il est dû à un RCIU, un petit poids de naissance se caractérise par un défaut généralisé de maturité pouvant expliquer la majoration du risque de mortalité néonatale chez ces individus (Gill 2002 ; Sacy et al. 2010 ; Yuan et al. 2015). Cette immaturité est multimodale. Elle peut se caractériser par une plus grande difficulté à se déplacer d'où un risque plus important d'écrasement par la mère, une moins bonne prise colostrale et une ingestion de lait limitée (Gill 2001 ; Sacy et al. 2010). Dans les premiers mois de vie, leur système immunitaire étant également immature, les jeunes à PPDN sont plus sensibles aux maladies infectieuses que les autres individus de la portée, et les troubles peuvent apparaître également à plus long terme si le petit poids de naissance survit au sevrage (Sacy et al. 2010 ; Ismail et Chang 2012 ; Yuan et al. 2015). Chez les porcelets atteints de RCIU, cette immaturité concerne également le tractus intestinal : la maturation des entérocytes est retardée, impactant ainsi les fonctions digestives normales (Ferenc et al. 2014). Outre un poids inférieur, la morphométrie externe peut également être affectée avec une augmentation en proportion de la taille de la tête (Kramer 1987).

L'échographie comme moyen de surveillance, de diagnostic et de dépistage complémentaire, pourrait ainsi probablement contribuer à limiter la mortalité néonatale importante dans l'espèce canine, si elle était mise en place en routine. Le taux de mortalité durant les 3 premières semaines de vie dans l'espèce canine est connu pour être l'un des plus élevés des animaux domestiques. En effet, en élevage canin, environ 17% des chiots meurent durant cette période dite néonatale (Potkay et Bacher 1977 ; Gill 2001 ; Nielen et al. 2001 ; Indrebø et al. 2007).

Cependant cette approche nécessiterait une meilleure connaissance de l'aspect et des dimensions des organes abdominaux à l'échographie. En effet, à notre connaissance, aucune étude applicable dans la pratique clinique quotidienne, n'a, à l'heure actuelle, fourni de données de référence pour les dimensions échographiques des organes abdominaux chez le chiot sain au cours de sa croissance.

Les objectifs de notre travail expérimental étaient de fournir des données échographiques de référence sur les paramètres normaux des organes (dimensions, aspect). Il s'agissait, dans un premier temps, de caractériser le standard de croissance de l'individu et de certains de ses organes pendant les deux premiers mois de vie en se basant sur un suivi morphométrique et échographique des chiots. Via le suivi échographique, le but de notre étude était de caractériser l'aspect échographique normal des organes abdominaux et d'établir des valeurs usuelles des dimensions de certains organes abdominaux chez les chiots Berger de Beauce, pendant les deux premiers mois de vie. Une évolution temporelle a ainsi été décrite et ces paramètres qualitatifs et quantitatifs ont été comparés aux paramètres morphométriques externes du chiot.

Dans un second temps l'objectif était de décrire les dimensions des organes chez les chiots naissant avec un petit poids de naissance et d'examiner s'ils ont potentiellement une trajectoire de croissance différente par rapport aux chiots de poids de naissance normal. Enfin, de la même manière, nous avons étudié l'influence ou non du sexe du chiot sur la croissance et les dimensions des organes.

# I. Matériels et méthodes

Toute la partie expérimentale de cette étude a été réalisée sur des chiots provenant d'un seul et même élevage de la région toulousaine.

## A. Animaux

### 1. Élevage

L'élevage dans lequel notre étude a été menée est l'élevage canin du Berceau de Bfamily, situé dans la commune de Bouloc, à une trentaine de kilomètres au Nord de Toulouse. Cet élevage a été créé en 1996 par Mr et Mme Avelin et commercialise 3 races canines différentes : Berger de Beauce, Basset Hound et Bouvier Bernois. Les chiots sont vendus sur place ou lors de salons du chiot.

### 2. Cheptel

Toutes races confondues, l'élevage compte au total 62 adultes dont 6 mâles, tous inscrits au Livre des Origines Françaises (LOF).

Concernant la race Berger de Beauce, l'élevage dispose de 20 femelles reproductrices, un mâle reproducteur appartenant à l'élevage et un mâle reproducteur partagé avec un autre élevage.

### 3. Hébergements : maternité et nurserie

L'ensemble des manipulations a été réalisé dans la maternité de l'élevage où les chiots restent jusqu'à l'âge de 35 jours puis dans la nurserie pour les suivis échographiques et morphométriques après 35 jours d'âge.

La maternité comporte 8 boxes de mise bas, équipés de barres anti-écrasement. Les femelles y sont installées au moins une semaine avant la mise bas. Le local est chauffé et des lampes chauffantes sont rajoutées dans les boxes durant les premiers jours de vie des chiots. La température et l'hygrométrie sont relevées régulièrement. Un espace au sein de la maternité est dédié au suivi des chiots : ils y sont pesés et soumis à un examen clinique quotidien.

L'élevage compte 2 nurseries : une pour les chiots n'étant encore jamais sortis de l'élevage et une pour les chiots déjà présentés en salon. La nurserie dans laquelle nous avons échographié les chiots de 56 jours comporte 2 espaces séparés, aménagés dans des fosses, avec accès à l'extérieur. Les chiots arrivent en nurserie avec leur mère et sont mis en contact avec des chiots provenant d'autres portées et avec des chiens adultes.

### 4. Conduite d'élevage

#### a) Reproduction

Les femelles sont mises à la reproduction à l'âge de 2 ans et font en moyenne une portée par an. La détection des chaleurs se fait visuellement puis par suivi de la progestérone sanguine à partir d'environ 8j après le début des chaleurs. Deux ou trois saillies sont réalisées sur chaque chienne. La saillie se fait soit de manière naturelle, soit par insémination artificielle à partir de semence fraîche. Les inséminations artificielles sont réalisées par l'éleveuse, via une sonde urinaire stérile.

## b) Alimentation

Les adultes sont nourris avec des croquettes Royal Canin Maxi Sensible® (Aimargues, France), à volonté.

Jusqu'au diagnostic de gestation (à environ 1 mois post saillie), les chiennes gestantes conservent la même alimentation que les autres adultes. A partir du deuxième mois de gestation, elles sont nourries avec du BARF (Bones And Raw Food, ration composée de carcasses de poulets broyées, achetées dans un abattoir de volailles) et des croquettes Royal Canin Puppy®, à volonté. Enfin, pendant la lactation, elles sont également nourries au BARF et aux croquettes Royal Canin Puppy®, à volonté.

Lorsque les chiots ne peuvent pas téter de manière satisfaisante (défaut de production lactée chez la mère, « lait toxique », absence de reflexe de succion chez le chiot, ...), l'éleveuse donne du lait maternisé au biberon. L'alimentation solide est introduite à partir de 15 jours d'âge : les chiots ont à disposition la viande crue et des croquettes Royal Canin Puppy® trempées dans de l'eau, à volonté.

## c) Vaccination

Les adultes sont vaccinés avec les valences CHPL (Maladie de Carré, Hépatite de Rubarth, Parvovirose, Leptospirose) et PiBb (virus Parainfluenza, *Bordetella bronchiseptica*) tous les ans.

Le protocole de vaccination des chiots est le suivant :

- à l'âge de 5 semaines, valence P (VANGUARD CPV),
- à l'âge de 6 semaines, valence P (VANGUARD CPV) + PiBb (PNEUMODOG, MERIAL, Lyon, France) + identification électronique,
- à l'âge de 7 semaines, valence P (VANGUARD CPV),
- à l'âge de 8 semaines, valence CHPPiL (VANGUARD 7, ZOETIS, Malakoff, France) + PiBb (PNEUMODOG),
- à l'âge de 12 semaines, valence CHPPiL (VANGUARD 7).

## d) Lutte contre les parasites internes et externes

Les adultes sont vermifugés tous les 4 mois (DRONTAL® (BAYER, Loos, France, fébantel, pyrantel, praziquantel) ou MILBEMAX® (ELANCO, Cuxhaven, Allemagne, milbémycine oxime, praziquantel)). Pour les parasites externes, ils portent un collier BEAPHAR® (BEAPHAR, Cagnes-sur-mer, France, dimpylate). Les adultes en parcs extérieurs sont également traités avec du BUTOX® (INTERVET, Beaucouze, France, deltaméthrine).

Les chiennes gestantes sont vermifugées tous les 15 jours dès le diagnostic de gestation avec du MILBEMAX®. Pour les parasites externes, seul l'environnement est traité tous les mois avec des pulvérisations de SANITERPEN® DK+ ou SANITERPEN® Ecochoc au pyrèthre végétal (AGECOM, Saint Didier au Mont d'Or, France).

Les chiots sont vermifugés à l'âge de 10 jours puis tous les 10-15 jours selon l'aspect des selles avec du DRONTAL® (fébantel, pyrantel, praziquantel), du PANACUR® (INTERVET, Beaucouze, France, fenbendazole), ou du VALBAZEN® (ZOETIS, Malakoff, France, albendazole) jusqu'à l'âge de 12 semaines.

Lors de suspicion de coccidiose, l'éleveuse utilise du BAYCOX® (BAYER, Loos, France, toltrazuril) ou du TRISULMIX® (DOPHARMA, Vair sur Loire, triméthoprime sulfamide).

## B. Protocole expérimental

### 1. Collecte des données

L'ensemble des chiots de race Berger de Beauce nés entre le 08/03/2019 et le 06/05/2019 et vivants à l'âge de 2 jours ont été inclus dans l'étude.

Les mesures ont été réalisées 6 fois entre 2 et 56 jours d'âge (à 2, 7, 14, 21, 35 et 56 jours,  $\pm 1$  jour), par deux manipulateurs. Les manipulations expérimentales consistaient d'une part à réaliser des mesures morphométriques externes et d'autre part à réaliser des mesures des dimensions de plusieurs organes abdominaux lors d'un examen échographique abdominal complet pour chaque chiot. Une phase préalable d'adaptation et de révision du protocole fut nécessaire durant le mois de février 2019 puis les données ont été collectées entre mars et juillet 2019.

Les données génériques enregistrées pour chaque chiot étaient : le sexe, les données sur la mère (âge, parité), le nom du père, le sex ratio de la portée dont il était issu et la date de la mort si elle avait lieu au cours de l'étude. Les étapes du développement des chiots étaient également notées (ouverture des yeux, consistance des selles, posture générale, etc.).

#### a) Poids

Préalablement à chaque examen échographique, les chiots étaient pesés avec une balance électronique (ADE, modèle M112600, Hambourg, Allemagne, Max : 20kg, d=5g).

#### b) Mesures morphométriques

Des mesures morphométriques de chaque chiot, étaient réalisées, à l'aide d'un mètre de couturière (Figure 1) :

- Le périmètre crânien, à son maximum, au niveau de l'insertion des pavillons auriculaires, ce qui correspond à l'os temporal.
- Le périmètre thoracique, mesuré en arrière de l'articulation du coude, de manière perpendiculaire à la colonne vertébrale.
- La longueur tête-croupe, mesurée en ligne droite de l'os occipital du crâne à la première vertèbre coccygienne.

En cas d'anomalie clinique sur un chiot (par exemple jetage important, plaie infectée, ...) ou de problème rapporté par l'éleveur (par exemple perte du réflexe de succion), l'échographie n'était pas réalisée.

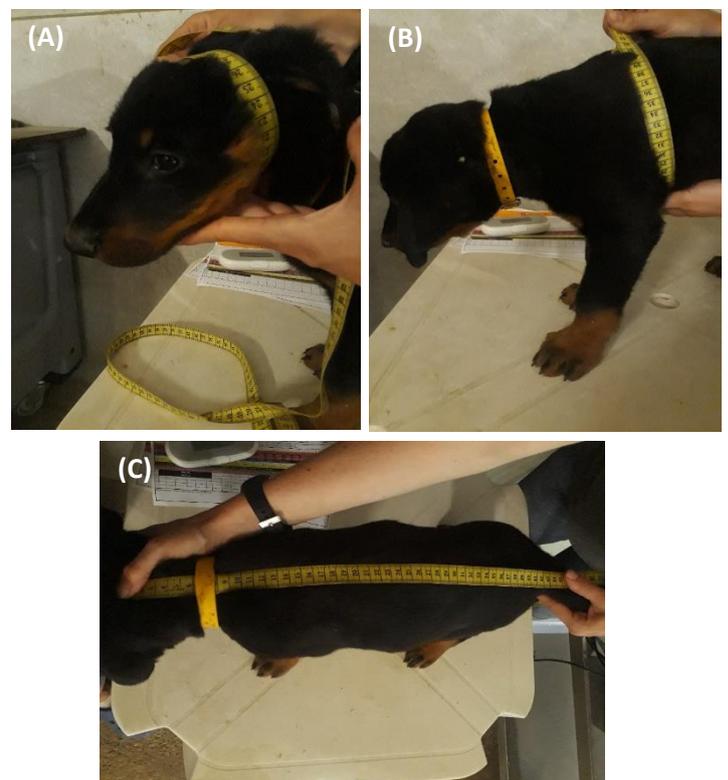


Figure 1 : Réalisation des mesures morphométriques. (A) : mesure de la circonférence de la tête, (B) : mesure de la circonférence du thorax, (C) : mesure de longueur os occipital-croupe.

### c) Examen échographique

Après les différentes mesures morphométriques, les chiots faisaient ensuite l'objet d'un examen échographique abdominal, selon un protocole standardisé et reproduit à l'identique à chaque examen, de la manière décrite ci-dessous.

Toutes les échographies menées, étaient réalisées avec l'échographe portable Esoate® MyLabTMOneVet (Hospimedi, Poisy, France). Le protocole a nécessité l'utilisation de deux sondes échographiques : une sonde linéaire et une sonde micro-convexe (fréquences en mode B 6,6 ; 8,0 ; 10,0 MHz). La sonde linéaire était utilisée pour échographier la totalité des organes abdominaux sur les chiots de 2, 7 et 14 jours d'âge. A 35 et 56 jours d'âge, le foie et les reins étant de taille trop importante, ces organes étaient échographiés avec la sonde micro-convexe tandis que la sonde linéaire continuait à être utilisée pour la rate, les anses digestives, l'évaluation qualitative des organes (échogénicité, présence d'épanchement péritonéal...) pour conserver une meilleure précision par rapport à la sonde micro-convexe.

Etant donné que les chiots inclus dans l'étude provenaient d'un élevage privé et étaient par conséquent destinés à la vente après sevrage, ils n'ont été tondu que partiellement avant les examens échographiques et une seule fois, à l'âge de 7 jours, pour limiter l'impact esthétique, à la demande de l'éleveur.

Lors de chaque examen, les chiots étaient placés en décubitus dorsal, sur un tapis chauffant permettant le maintien d'une température régulée et constante, afin de limiter le risque de refroidissement des chiots. De plus, un chauffage d'appoint portable était positionné à quelques centimètres du chiot. Afin de maximiser la surface de contact avec la sonde, du gel échographique était appliqué sur tout l'abdomen du chiot. Après chaque examen échographique, les chiots étaient essuyés rigoureusement pour enlever la totalité du gel échographique, puis séchés. Pour les examens échographiques effectués à 2 jours d'âge, un suivi de température était réalisé : la température rectale était mesurée avant l'examen et à la fin de celui-ci, pour évaluer le refroidissement occasionné par l'échographie et évaluer l'efficacité des précautions prises (tapis chauffant, chauffage d'appoint et séchage des chiots). A l'issue de l'examen échographique, dans le cas où les chiots passaient en dessous de leur température rectale physiologique, ils étaient placés en couveuse pendant une durée minimum de 20 minutes.

Chaque examen échographique était réalisé dans un ordre précis : d'abord le foie puis le rein gauche, le rein droit, la rate, les anses intestinales et la vessie.

#### ❖ Foie

Pour l'examen du foie, la sonde était placée de manière longitudinale, à gauche du plan sagittal, juste en arrière du cercle de l'hypochondre. L'acquisition du cliché échographique se faisait au moment où la visualisation du lobe médial gauche du foie était la plus complète avec le diaphragme pour délimitation crâniale et l'estomac pour délimitation caudale. A chaque examen échographique, 3 clichés du lobe hépatique médial gauche étaient réalisés.

#### ❖ Reins

Pour l'examen des reins, deux coupes étaient réalisées (Barr 1990) : une coupe sagittale et une coupe transversale. Pour la coupe sagittale, la sonde échographique était placée longitudinalement et l'orientation de la sonde était ajustée, de manière à ce que la taille du rein soit maximale et que le sinus rénal soit clairement visible.

Pour la coupe transversale, la sonde était tournée à 90° par rapport à la position précédente puis sa position était ajustée jusqu'à ce que la coupe transversale soit la plus large et circulaire possible, de manière à éviter les coupes obliques. Le but était d'obtenir la forme de « C » caractéristique de la coupe transversale avec le bassin central en forme de « V ».

#### ❖ Rate

Pour la rate, la sonde était positionnée de manière longitudinale et sa position était ajustée jusqu'à obtenir une image du hile splénique le plus caudal. Un seul cliché de rate par examen était réalisé.

#### ❖ Anses digestives

Pour l'intestin grêle, 6 clichés de 6 portions différentes de jéjunum ont été réalisés lors de chaque examen échographique : 3 clichés des anses intestinales en coupe transversale et 3 clichés en coupe longitudinale. La sonde était positionnée à chaque fois de manière à ce que les portions ventrale et dorsale de la paroi intestinale soient symétriques, en évitant au maximum les coupes obliques.

Le jéjunum est la portion la plus longue de l'intestin grêle et est constitué de nombreuses anses très mobiles qui sont visualisables à l'échographie dans l'ensemble de l'abdomen (Larson et Biller 2009). À l'inverse le duodénum est moins mobile et constitue une partie moins longue de l'intestin grêle. Ainsi nous avons considéré que les anses intestinales échographiées correspondaient au jéjunum.

#### ❖ Evaluation qualitative des organes

Un examen périvésical permettait d'évaluer qualitativement la présence de fluide intra-abdominal. En effet, chez des chiots Beagle âgés de 7 à 12 semaines, la présence d'épanchement péritonéal se caractérisait par la présence d'un triangle anéchogène au niveau de l'apex de la vessie (Stander et al. 2010b).

L'ensemble des organes était également évalué qualitativement (structure, différenciation, échogénicité, ...) à chaque examen échographique. En particulier, une comparaison de l'échogénicité du cortex rénal par rapport à l'échogénicité du parenchyme splénique et du parenchyme hépatique, respectivement pour le rein gauche et pour le rein droit était réalisée systématiquement. Pour chaque rein, la présence ou non d'une dilatation pyélique était également notée.

De plus, les nœuds lymphatiques au niveau des anses intestinales étaient également caractérisés si visualisés à l'échographie mais ces nœuds lymphatiques n'ont pas été mesurés.

## 2. Création de la base de travail

À l'issue de chaque examen, les clichés échographiques réalisés pour chaque organe étaient enregistrés et exportés sous format jpeg sur une clé USB afin d'en réaliser l'exploitation (mesures, description...) *a posteriori*.

Toutes les mesures ont été réalisées avec une précision au centième de millimètre près en utilisant « l'outil » électronique de l'échographe (caliper).

Tous les clichés échographiques d'organes en coupe longitudinale sont orientés de telle sorte que la partie crâniale du corps du chiot est à gauche, la partie caudale à droite, la partie ventrale de l'abdomen vers le haut et la partie dorsale vers le bas du cliché. Les clichés d'organes en coupe transversale sont orientés de telle sorte que la droite de l'animal est sur le côté gauche du cliché et le bord ventral est en haut du cliché.

#### a) Foie

À chaque examen échographique et pour chaque chiot, 3 mesures de la surface de la coupe du lobe médial gauche étaient faites pour pouvoir établir une moyenne et se rapprocher le plus possible de la surface réelle de la coupe du lobe (Figure 2). Dans la suite de l'étude, le paramètre « surface de la coupe du lobe médial gauche du foie » sera abrégé par « surface de la coupe du lobe hépatique ».

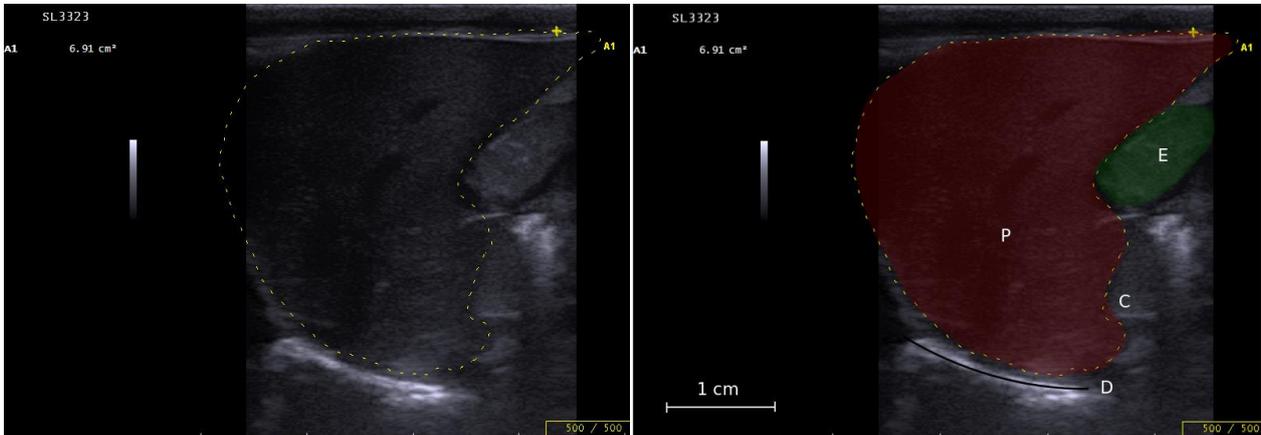


Figure 2 : Mesure de la surface de la coupe du lobe hépatique médial gauche à l'aide du caliper chez un chiot de 2 jours. P : parenchyme hépatique, E : estomac, C : bord caudal du lobe hépatique, D : diaphragme.

#### b) Reins

La longueur et la hauteur des reins ont été mesurées sur des coupes sagittale et transversale (Figure 3 et 4). Dans la suite de l'étude, le paramètre « longueur du rein en coupe sagittale » sera abrégé par « longueur du rein ».

#### c) Rate

L'épaisseur de la rate était mesurée sur chaque cliché comme étant la distance du hile splénique le plus caudal jusqu'à la marge supérieure la plus ventrale (Figure 5). Dans la suite, la mesure réalisée sera assimilée à l'épaisseur de la rate.

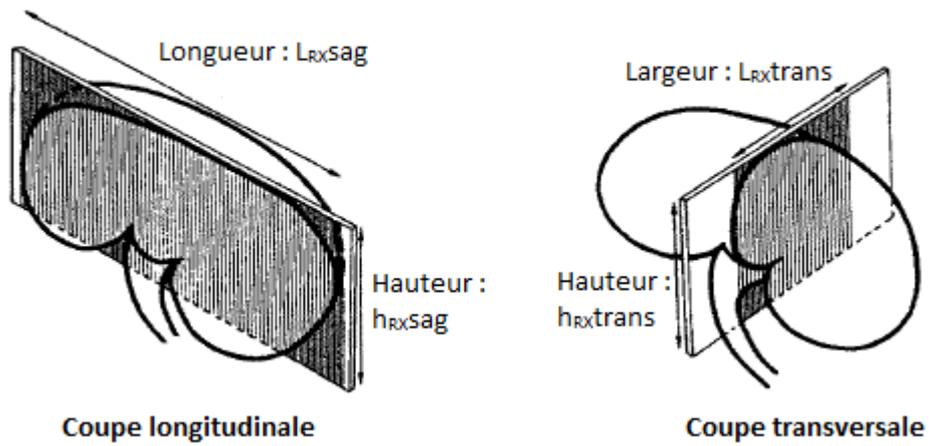


Figure 3 : Mesures échographiques des reins, réalisées en coupes sagittale et transversale. RX : rein X (Dinkel et al. 1985).

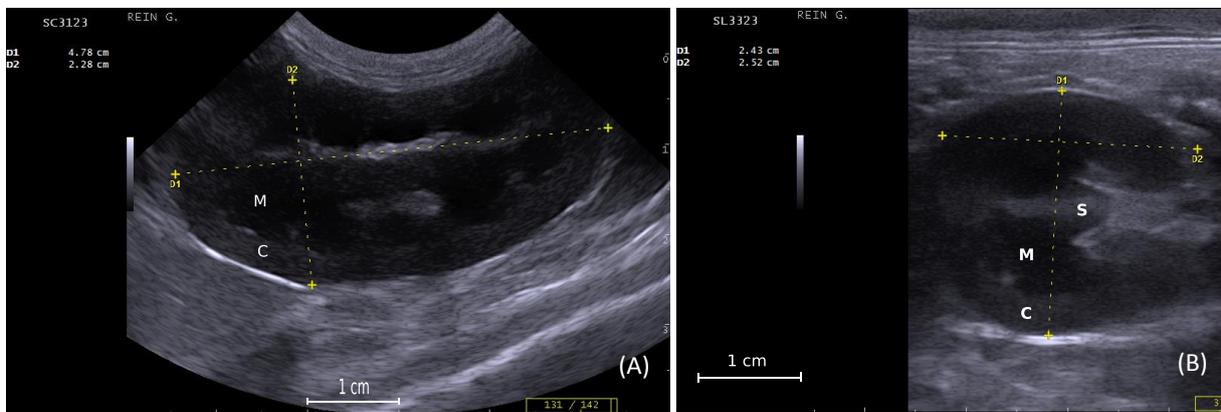


Figure 4 : (A) Mesure de la longueur et de la hauteur du rein gauche en coupe sagittale chez un chiot de 2 jours (D1 représente la longueur et D2 la hauteur). (B) Mesure de la longueur et de la hauteur du rein gauche en coupe transversale, chez un chiot de 35 jours (D1 représente la hauteur et D2 la longueur). C : cortex rénal, M : medulla rénale, S : sinus rénal.

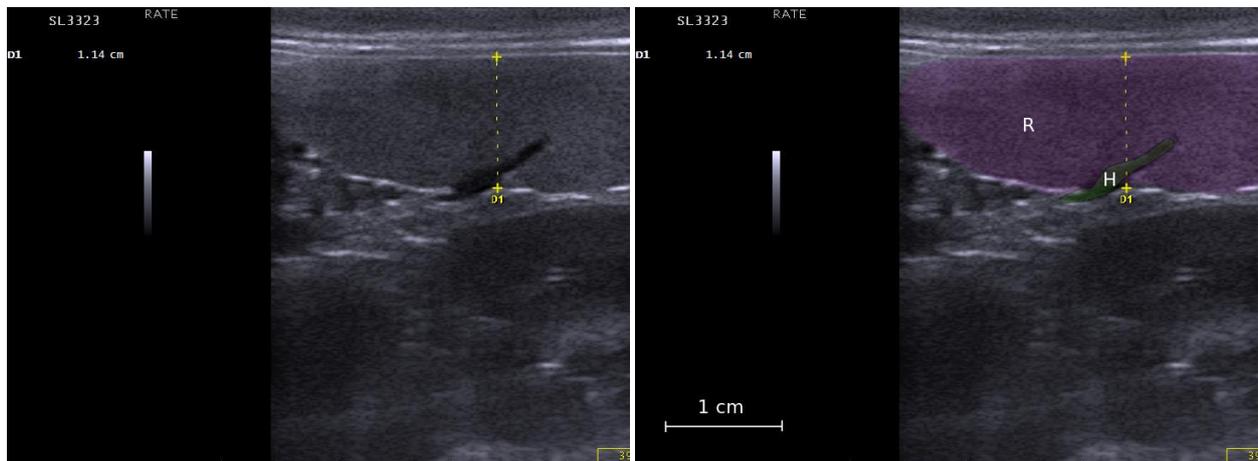


Figure 5 : Mesure de l'épaisseur de la rate, chez un chiot de 56 jours. R : rate, H : hile splénique.

#### d) Anses intestinales

Les mesures sur clichés échographiques étaient réalisées sur images figées entre deux contractions péristaltiques. L'épaisseur de la muqueuse de la paroi de l'intestin grêle se mesurait à l'aide du caliper de l'échographe, de l'interface entre la muqueuse et la lumière jusqu'à la limite externe de la muqueuse (Figure 6). Les mesures étaient réalisées de la même manière sur 3 portions d'anses intestinales en coupe transversale et sur 3 portions en coupe longitudinale, soit 6 mesures au total. La structure en couches de la paroi de l'intestin grêle n'étant pas visible durant les premières semaines de vie du chiot, la muqueuse était assimilée à la portion la plus hypoéchogène de la paroi de l'anse intestinale considérée, par opposition à la lumière hyperéchogène. Pour chaque cliché, la visualisation d'une structure en couches visibles de la paroi était également évaluée lors de chaque examen.

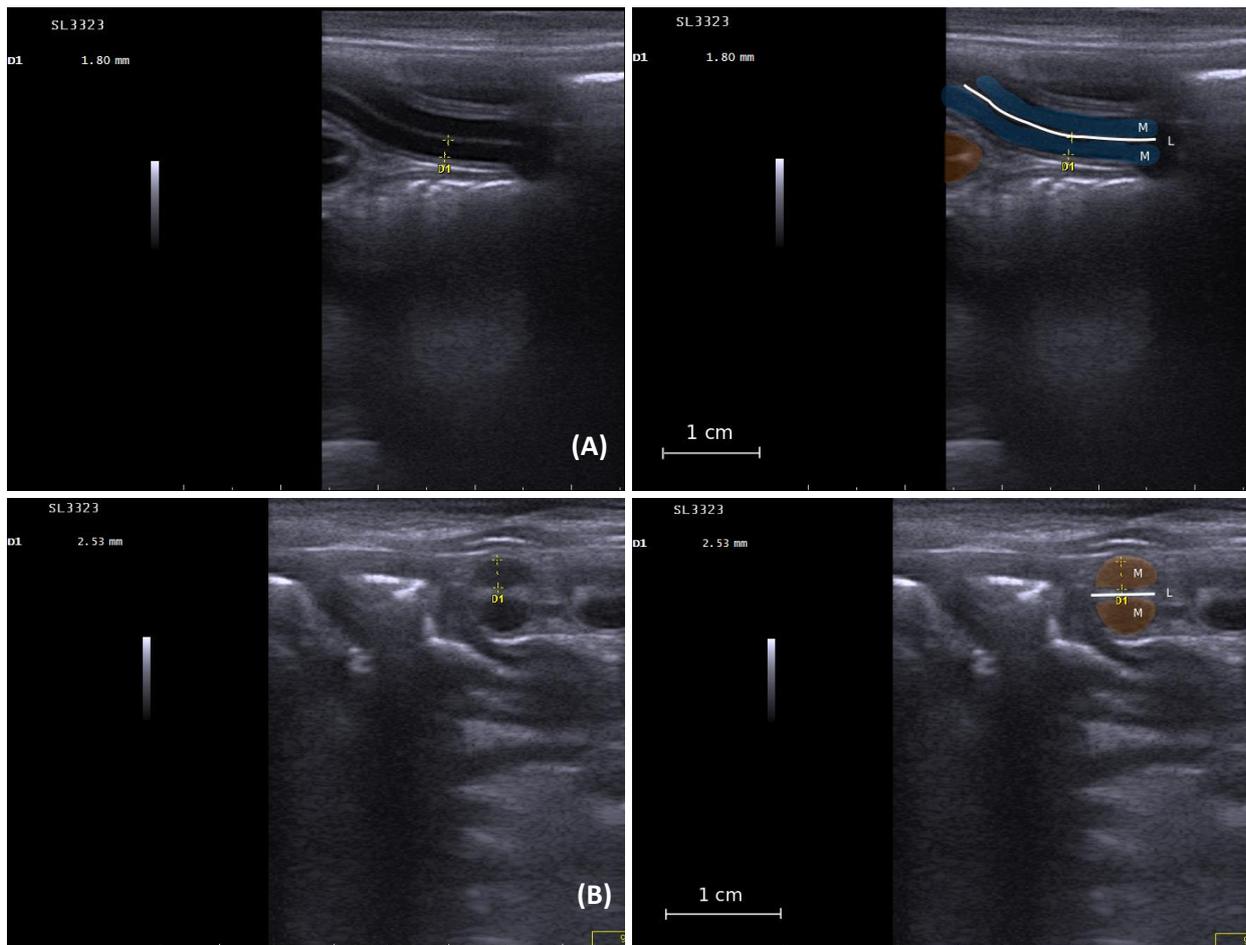


Figure 6 : (A) Mesure de l'épaisseur de la muqueuse intestinale en coupe longitudinale (A) et en coupe transversale (B), chez un chiot de 56 jours. L : lumière de l'anse digestive, M : muqueuse digestive.

### 3. Etude de la variabilité

#### a) Liée aux manipulateurs : variation inter-opérateur

La réalisation des échographies par deux manipulateurs différents représente un biais dans la récolte des données. Pour pallier ce biais, tous les clichés échographiques ont été réalisés en présence des deux manipulateurs, ce qui a permis une concertation pour chaque cliché et ainsi de limiter fortement la variabilité liée au changement d'opérateur pour l'échographie d'un chiot à l'autre. Les mesures réalisées *a posteriori* avec le caliper ont également été faites en concertation par les deux

manipulateurs pour limiter la variabilité liée à la mesure. Une étude de la répétabilité inter-opérateur a été effectuée. Pour cela, le rein gauche a été échographié sur un même chiot par chaque opérateur puis la longueur du rein gauche en coupe sagittale a été mesurée sur les deux images. Cette opération a été répétée sur 20 chiots de manière à déterminer un coefficient de variation inter-opérateur.

#### b) Liée au matériel

Pour chaque organe, les clichés échographiques ont été réalisés avec deux types de sondes échographiques pour un âge donné : la sonde linéaire et la micro-convexe (voir plus haut), ce qui représente un autre biais, qui est celui lié au matériel utilisé. Une étude de la variabilité liée à l'utilisation de ces sondes a donc été effectuée. La longueur du rein gauche en coupe sagittale a été mesurée sur un même chiot par le même manipulateur avec les deux types de sonde. Cette opération a été répétée sur 20 chiots de manière à déterminer un coefficient de variation lié au matériel.

#### c) Liée à la manipulation : variation intra-opérateur

Il est important de tester la répétabilité de la manipulation en elle-même pour pouvoir déterminer si on peut interpréter les variabilités liées au matériel et liées aux manipulateurs.

Pour cela nous avons calculer la variation intra-opérateur de la façon suivante : la longueur du rein gauche en coupe sagittale a été mesurée sur un même chiot par le même manipulateur avec la même sonde. Cette opération a été répétée sur 20 chiots de manière à déterminer un coefficient de variation intra-opérateur.

### C. Traitement des données récoltées

Pour chaque paramètre, l'ensemble de la population a été étudiée puis des sous-catégories ont été réalisées selon le poids de naissance et le sexe du chiot.

Les poids de naissance ont été catégorisés en quartiles. Les quartiles sont les trois valeurs qui permettent de diviser les données triées en quatre parts égales représentant chacune un quart de l'effectif de l'échantillon analysé. Le premier quartile, noté Q1, délimite les 25% des valeurs les plus faibles tandis que le 3<sup>ème</sup> quartile, noté Q3, délimite les 25% des valeurs les plus élevées. Le 2<sup>ème</sup> quartile, noté Q2, correspond à la médiane (Figure 7).

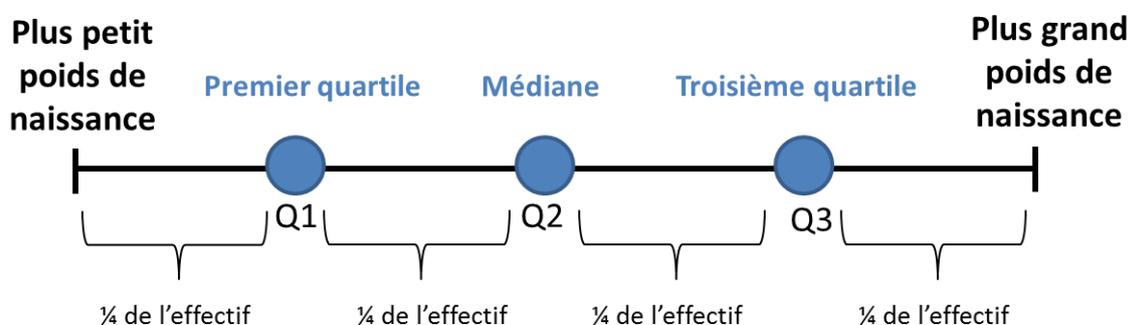


Figure 7 : Définition des quartiles de poids de naissance

Les chiots nés à petits poids de naissance étaient définis comme les chiots dont le poids de naissance était inférieur au premier quartile Q1. Q1 a été calculé en fonction des poids de naissance de tous les chiots nés entre 2018 et 2019 dans l'élevage : le seuil a été déterminé à 395 grammes d'après les valeurs de poids de 237 chiots. Dans la suite de l'étude, les PPDN sont donc définis comme les chiots nés avec un poids de naissance inférieur au seuil Q1 c'est-à-dire inférieur à 395 grammes.

## 1. Dictionnaire des variables

Le volume du rein était calculé à l'aide de la formule suivante, trouvée dans la littérature (Hricak et al. 1983) :

$$V_{\text{rein}} = 0,523 \times L_{\text{RGsag}} \times L_{\text{RGtrans}} \times h_{\text{RGtrans}}$$

Le volume corporel du chiot était calculé en assimilant le chiot à un cylindre. Le volume d'un cylindre étant  $V = \pi \times R^2 \times h$  avec R le rayon du cylindre et h sa hauteur.

Ici, le rayon du chiot est calculé à partir de la circonférence du thorax et correspond donc à  $\frac{\text{thorax}}{2\pi}$ . La hauteur du chiot est assimilée à la longueur os occipital-croupe notée  $L_{\text{chiot}}$ .

Donc la formule permettant de calculer le volume corporel approximatif du chiot est la suivante :

$$V_{\text{chiot}} = \pi \times \left(\frac{\text{thorax}}{2\pi}\right)^2 \times L_{\text{chiot}}$$

Les différentes variables de l'étude sont présentées dans le tableau 1.

## 2. Etude statistique

### ❖ Analyse univariée

La première étape de l'analyse de nos données était la description de l'évolution des paramètres réalisée sous Excel grâce à des graphiques et des tableaux croisés dynamiques. Ensuite, une analyse univariée a été conduite.

Le test de Kruskal-Wallis était d'abord utilisé pour voir s'il existait une différence de valeur statistiquement significative pour les paramètres considérés entre les différents groupes d'âge. Il s'agit d'un test non paramétrique utilisé comme alternative à l'ANOVA pour palier le fait que dans notre étude, les variances de l'échantillon n'étaient pas homogènes. Dans le cas où une différence était vraiment notée, les valeurs des paramètres correspondants étaient comparées 2 à 2 grâce au test de Wilcoxon avec ajustement de Bonferonni, afin de révéler une différence significative d'un âge à l'autre. Ici, il s'agit également d'un test utilisé comme alternative du test de Student face à l'hétérogénéité des variances de l'échantillon. Ensuite, le test de Kruskal-Wallis était réalisé pour comparer des sous-catégories de populations (mâles vs femelles et PPDN vs poids de naissance normaux) étant donné le faible effectif des sous-catégories.

Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel R 3.1.3 (R Development Core Team 2005). Pour l'ensemble des tests statistiques, le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

Les résultats sont présentés sous la forme : moyenne ( $\pm$ écart-type).

### ❖ Analyse de corrélation

Les relations entre les mesures morphométriques et les différentes mesures échographiques des organes ont été étudiées en utilisant une analyse de corrélation de Pearson, permettant le calcul de coefficients de corrélation linéaire (R), selon la méthode réalisée dans plusieurs études antérieures (Pugliese et al. 2016 ; Banzato et al. 2017).

Tableau 1 : Paramètres pris en compte dans l'analyse statistique univariée

	Paramètres	Niveaux	Variable	Abréviation
Chiot	Sexe	Mâle/femelle	Qualitative	M/F
	Poids corporel	Valeur en kg	Quantitative	Poids
	Gain journalier des différents paramètres	Valeur en %/jour	Quantitative	Gain
Morphométrie externe	Circonférence de la tête	Valeur en cm	Quantitative	Tête
	Longueur os occipital-croupe	Valeur en cm	Quantitative	L <sub>chiot</sub>
	Circonférence du thorax	Valeur en cm	Quantitative	Thorax
	Volume corporel du chiot	Valeur en cm <sup>3</sup>	Quantitative	V <sub>chiot</sub>
Morphométrie interne	Moyenne de la surface de la coupe du lobe hépatique médial gauche	Valeur en cm <sup>2</sup>	Quantitative	M <sub>foie</sub>
	Ratio entre la moyenne de la surface de la coupe du lobe hépatique médial gauche et le poids	Valeur en cm <sup>2</sup> /kg	Quantitative	M <sub>foie</sub> /Poids
	Épaisseur de la rate	Valeur en mm	Quantitative	Rate
	Échogénicité rein G/rate	Iso/hypo/Hyperéchogène	Qualitative	Echo RG/rate
	Hauteur du rein gauche en coupe sagittale	Valeur en cm	Quantitative	h <sub>RG</sub> sag
	Longueur du rein gauche en coupe sagittale	Valeur en cm	Quantitative	L <sub>RG</sub> sag
	Hauteur du rein gauche en coupe transversale	Valeur en cm	Quantitative	h <sub>RG</sub> trans
	Longueur du rein gauche en coupe transversale	Valeur en cm	Quantitative	L <sub>RG</sub> trans
	Volume du rein gauche	Valeur en cm <sup>3</sup>	Quantitative	V <sub>RG</sub>
	Échogénicité rein D/foie	Iso/hypo/Hyperéchogène	Qualitative	Echo RD/rate
	Hauteur du rein droit en coupe sagittale	Valeur en cm	Quantitative	h <sub>RD</sub> sag
	Longueur du rein droit en coupe sagittale	Valeur en cm	Quantitative	L <sub>RD</sub> sag
	Hauteur du rein droit en coupe transversale	Valeur en cm	Quantitative	h <sub>RD</sub> trans
	Longueur du rein droit en coupe transversale	Valeur en cm	Quantitative	L <sub>RD</sub> trans
	Volume du rein droit	Valeur en cm <sup>3</sup>	Quantitative	V <sub>RD</sub>
	Épaisseur moyenne de la muqueuse intestinale en coupe transversale	Valeur en mm	Quantitative	M <sub>trans</sub>

	Épaisseur moyenne de la muqueuse intestinale en coupe sagittale	Valeur en mm	Quantitative	$M_{long}$
	Présence d'épanchement péritonéal	Oui/Non	Qualitatif	Epanch
	Localisation	Dorsal à la vessie/...	Qualitatif	Localisation
	Dilatation pyélique	Oui/Non	Qualitatif	Dilatation
Ratios	Ratio entre le volume du rein gauche et le poids corporel	Valeur en $cm^3/kg$	Quantitative	$V_{RG}/Poids$
	Ratio entre le volume total des reins et le poids corporel	Valeur en $cm^3/kg$	Quantitative	$V_{reins}/Poids$
	Ratio entre le volume total des reins et le volume corporel du chiot	Valeur $\times 10^3$	Quantitative	$V_{reins}/V_{chiot}$
	Pourcentage de différence entre le volume du rein droit et du rein gauche	Valeur en % de $cm^3$	Quantitative	$\%diff(V_{RD}-V_{RG})$
	Pourcentage de différence entre les longueurs des reins droit et gauche en coupe sagittale	Valeur en % de cm	Quantitative	$\%diff(L_{RD}-L_{RG})$
	Ratio entre la longueur du rein gauche en coupe sagittale et la longueur os occipital-croupe	Valeur $\times 10^2$	Quantitative	$L_{RG}/L_{chiot}$

## II. Résultats

### A. Description générale de la population

#### 1. Population initiale

L'étude a porté sur tous les chiots Berger de Beauce, nés entre mars 2019 et mai 2019 dans l'élevage soit un total de 63 chiots, issus de 8 portées différentes. Les 8 portées proviennent de 8 chiennes (2 primipares et 6 multipares de parité 2 à 6, incluant la portée étudiée) (Tableau 2).

La taille de portée (nombre total de chiots nés) s'échelonne de 4 à 12 chiots à la mise-bas. La parité de chaque mère a été déterminée en incluant la portée étudiée. Le sex ratio de la population globale est de 2,1 (mâles/femelles). Le nombre total de chiots nés est de 69 dont 2 chiots mort-nés, soit 67 chiots nés vivants.

Tableau 2 : Récapitulatif de la population initiale

Numéro de la portée	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Nom de la mère	Mamé blue	Jappy	Lulla	Lollitta	Magex	Ize	I-mai	Gazelle
Date de naissance de la chienne	29/11 /2016	02/07 /2014	02/05 /2016	01/05 /2015	08/11 /2017	13/10 /2013	10/07 /2013	09/10 /2011
Parité	1	3	2	2	1	4	4	6
Date de mise bas	08/03 /2019	13/03 /2019	28/03 /2019	01/04 /2019	21/04 /2019	21/04 /2019	05/05 /2019	06/05 /2019
Nombre total de chiots nés	4	10	12	9	8	7	8	11
Morts-nés	0	0	0	0	0	0	0	2
Mortalité J0-J2	1	0	2	1	0	1	0	0
Mortalité J3-J21	0	1	1	0	0	0	0	2
Mortalité après J21	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre de chiots exclus	1	1	3	1	0	1	0	4
Nombre de chiots inclus jusqu'à J56	3	9	9	8	8	6	8	7
Mâles (parmi les chiots nés vivants)	1	10	6	5	3	2	5	4
Femelles (parmi les chiots nés vivants)	2	1	4	4	5	4	3	7
Sex ratio (parmi les chiots nés vivants)	0,5	10,0	1,5	1,3	0,6	0,5	1,7	0,6
Père de la portée	Igazz	Igazz	Igazz	Igazz	Jainko	Igazz	Nash	Igazz

## 2. Critères d'exclusion

Cinq chiots sont morts pendant la période néonatale précoce (J0-J2), 4 chiots sont morts pendant la période néonatale tardive (J2-J21) et aucun chiot n'est mort pendant la période pédiatrique précoce. Au total 58 chiots étaient vivants à J56 (Figure 8).

Les chiots ayant présenté des anomalies cliniques ou échographiques entre J2 et J56 ont été exclus.

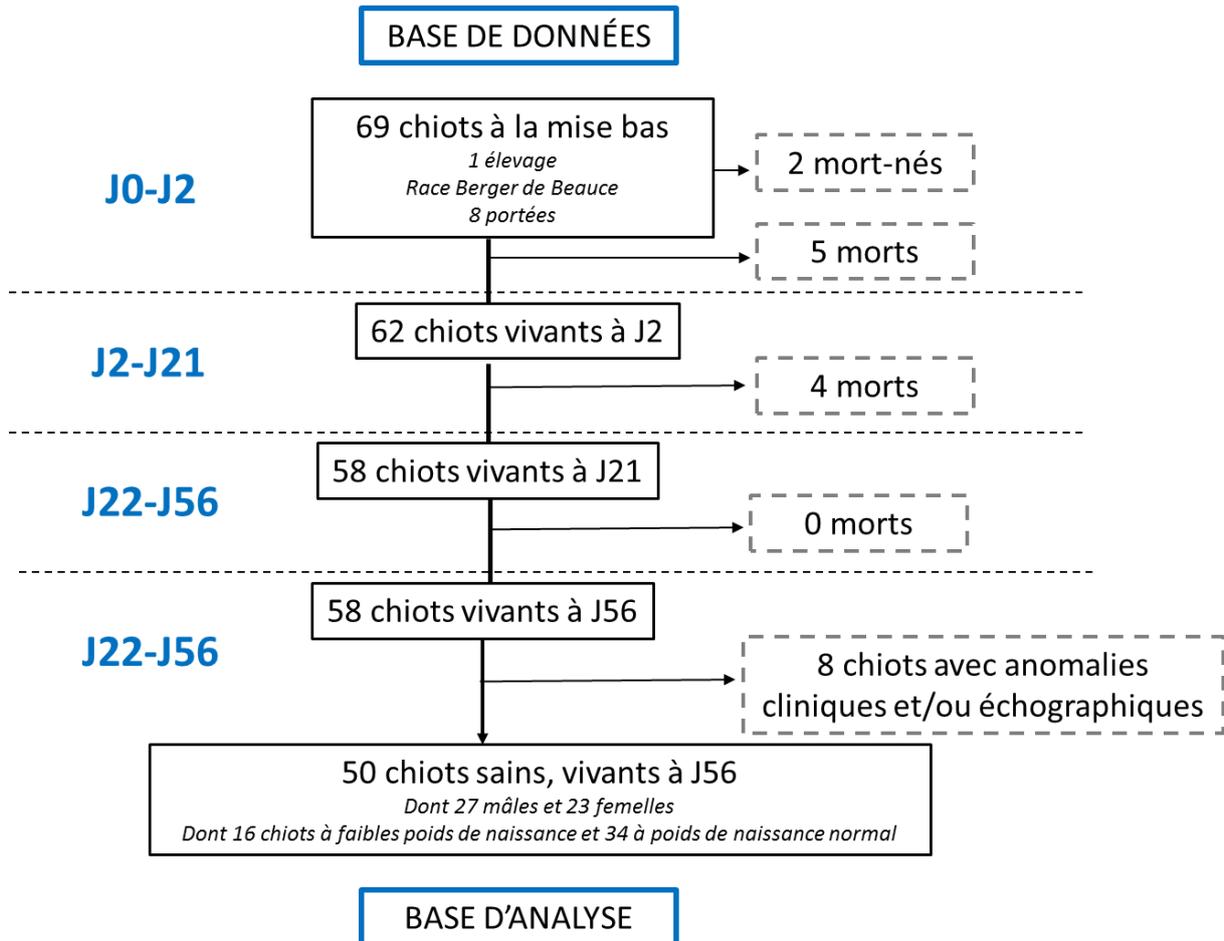


Figure 8 : Diagramme de flux de la population de l'étude.

Les anomalies cliniques rencontrées en maternité pendant la durée des expérimentations ont été les suivantes :

- Une plaie à l'aîne, occasionnée par l'ergot de la mère, cicatrisée à J35,
- Une perte du réflexe de succion à la suite d'un épisode de refroidissement, suivie d'une affection respiratoire par fausse déglutition, résolue à J21,
- Des crises convulsives probablement dues à un choc endotoxémique à la suite d'une vermifugation à J21,
- Une diarrhée importante.

Au total, 4 chiots ont présenté des anomalies cliniques au cours de l'étude, toutes résolues à J56 mais ayant occasionné des retards de croissance considérables, non rattrapés à J56. Parmi les anomalies échographiques, deux chiots présentaient une agénésie rénale (agénésie rénale droite pour l'un et gauche pour l'autre). Ces agénésies rénales étaient accompagnées d'un rein controlatéral de plus grande taille, probablement du fait d'un phénomène d'hypertrophie compensatoire. Deux autres chiots présentaient une hydronéphrose unilatérale gauche, accompagnée pour l'un des deux d'une dilatation sévère du rein controlatéral. Cette hydronéphrose s'est progressivement résolue au cours des deux premiers mois de vie des deux chiots. Au total, 4 chiots présentaient une anomalie échographique (Annexe 5). Ces 8 chiots ayant présenté des anomalies cliniques et/ou échographiques, ont été exclus de l'étude, l'objectif de celle-ci étant de dresser un tableau de la croissance morphométrique et des organes abdominaux via l'échographie chez l'animal sain.

L'étude a donc inclus finalement 50 chiots vivants et sains à la fin des 56 jours de suivi (Figure 8). Le sex ratio de la population étudiée était donc de 1,1.

## B. Protocole expérimental

### 1. Etude de la variabilité

Le coefficient de variation inter-manipulateurs était de 10,6%. Concernant les deux sondes échographiques, la différence entre la longueur du rein gauche en coupe sagittale obtenue avec la sonde linéaire et avec la sonde micro-convexe a été calculée et comparée à zéro. Il existe donc une différence significative de longueur de rein en fonction de la sonde utilisée ( $p < 0,001$ ). Cependant, le biais n'est pas constant : parfois la sonde micro-convexe surestime la longueur du rein gauche par rapport à la sonde linéaire et parfois, elle la sous-estime. On a donc également étudié le coefficient de variation lié à la manipulation, de la même manière. La différence entre la longueur du rein gauche en coupe sagittale lors de la 1<sup>e</sup> manipulation et lors de la 2<sup>e</sup> manipulation a été calculée et comparée à zéro. Nous obtenons là aussi une p-value inférieure à 0,001 ce qui montre qu'il existe une différence significative de longueur de rein entre deux manipulations. Cette variation intra-opérateur peut expliquer à elle seule la différence de longueur de rein obtenue avec les deux sondes échographiques. Ainsi la variabilité liée au matériel est difficilement interprétable.

### 2. Suivi de température rectale à deux jours d'âge

En moyenne, les chiots de l'étude présentaient une température rectale de  $37,2(\pm 0,3)^{\circ}\text{C}$  avant l'examen échographique et de  $35,4(\pm 0,9)^{\circ}\text{C}$  après l'examen échographique (Annexe 5). Sachant que la température rectale d'un chiot de deux jours d'âge est en moyenne de  $36,3(\pm 1,3)^{\circ}\text{C}$  (Catteau 2014), les nouveau-nés sont considérés comme hypothermes quand leur température rectale passe en-dessous de  $35,5^{\circ}\text{C}$  (Peterson et Kutzler 2010).

A deux jours d'âge, 53% des chiots présentaient une température rectale inférieure à 35,5°C après l'examen échographique. En moyenne, les chiots perdaient 1,8(±0,8)°C pendant l'examen échographique et 44% des chiots ont perdu plus de 1,8 °C pendant l'examen échographique. Au vu de la grande proportion de chiots hypothermes, il a été décidé de placer les chiots de deux jours d'âge, systématiquement en couveuse, après l'examen échographique. A sept jours, aucun chiot ne passait en dessous de 35,5°C de température rectale à l'issue de l'examen.

### C. Effet de l'âge sur les paramètres qualitatifs

Nous avons étudié plusieurs paramètres qualitatifs, à savoir :

- l'échogénicité du cortex rénal gauche par rapport au parenchyme splénique,
- l'échogénicité du cortex rénal droit par rapport au parenchyme hépatique,
- la présence ou non d'épanchement péritonéal,
- la présence ou non de dilatation pyélique,
- la visualisation de la structure en couches de la paroi de l'intestin grêle,
- la présence de nœuds lymphatiques abdominaux.

Les différentes étapes du développement du chiot (l'ouverture des yeux, la posture debout, la consistance et l'aspect des selles) ont également été évaluées.

#### 1. À deux jours d'âge

Les chiots avaient les yeux fermés, ils étaient sourds et n'interagissaient pas avec l'environnement. Leurs selles étaient claires et peu moulées, du fait d'une alimentation exclusivement lactée.

Chez tous les chiots de l'étude, le cortex du rein gauche était isoéchogène par rapport au parenchyme splénique (Figure 9). Chez tous les chiots, le cortex rénal présentait une différenciation en deux couches visibles : une couche externe plus hypoéchogène et une couche interne plus échogène (Figure 10). Au niveau du tractus digestif, la paroi de l'intestin grêle se caractérisait par une seule couche hypoéchogène homogène (Figure 11). Aucune structure en couches de la paroi intestinale n'était visible.

La paroi de la veine porte était déjà très échogène, permettant de différencier les différents vaisseaux hépatiques.

A deux jours d'âge, nous avons relevé une prévalence importante de la présence d'épanchement péritonéal (Figure 12) et de dilatation pyélique (Figure 13). En effet, plus de la moitié des chiots (60%) présentaient un épanchement péritonéal (Figure 14) et 40% des chiots une dilatation pyélique (Figure 15).

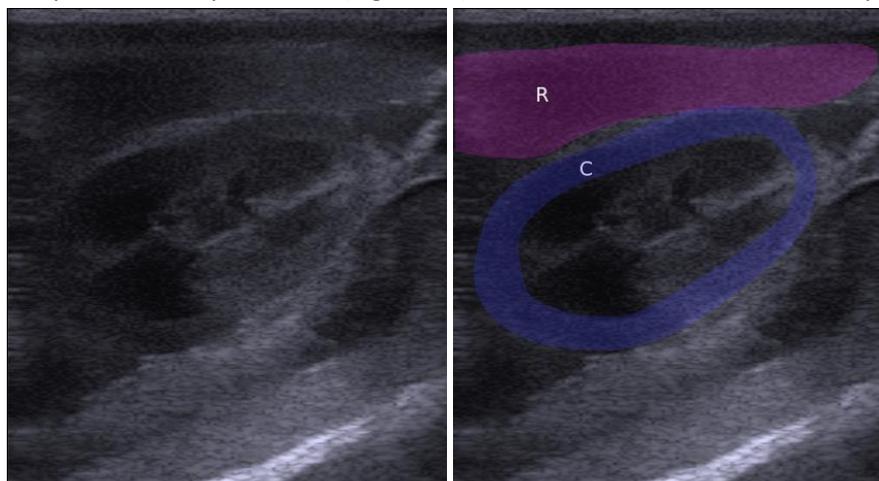


Figure 9 : Coupe longitudinale du rein gauche : le cortex du rein gauche est isoéchogène par rapport au parenchyme splénique chez un chiot de 2 jours. R : rate, C : cortex rénal.

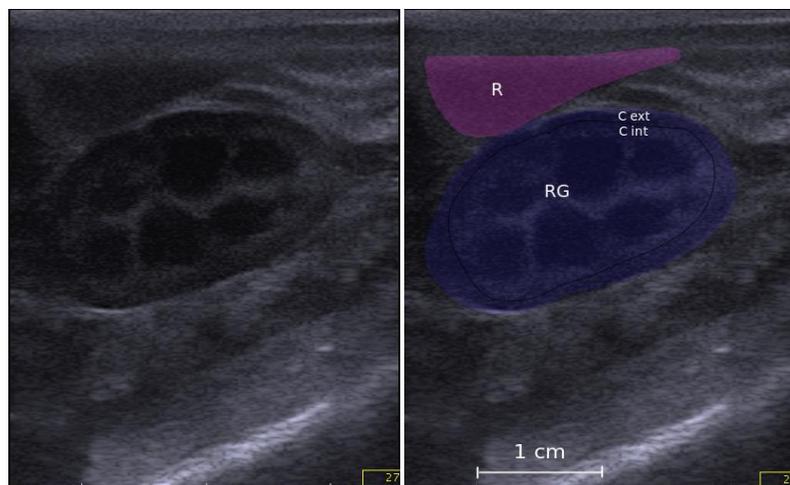


Figure 10 : Coupe longitudinale du rein gauche : différenciation du cortex rénal en deux couches chez un chiot de 2 jours. R : rate, RG : rein gauche, C ext : cortex rénal externe, C int : cortex rénal interne.

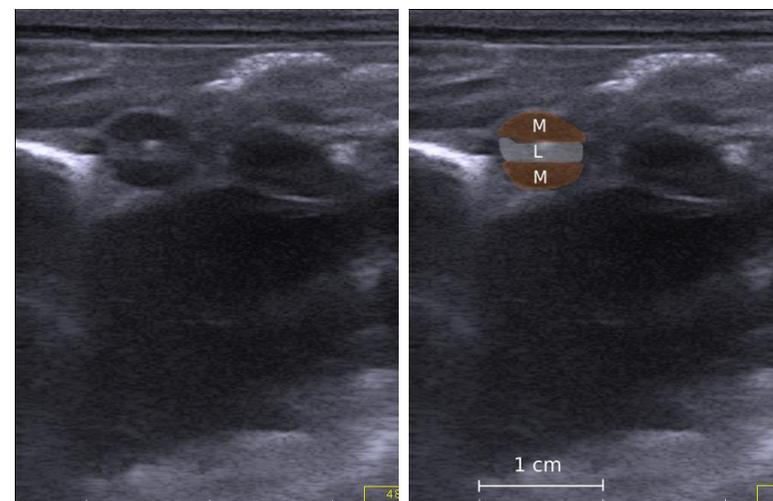


Figure 11 : Coupe transversale d'anse digestive : paroi non différenciée chez un chiot âgé de 7 jours.

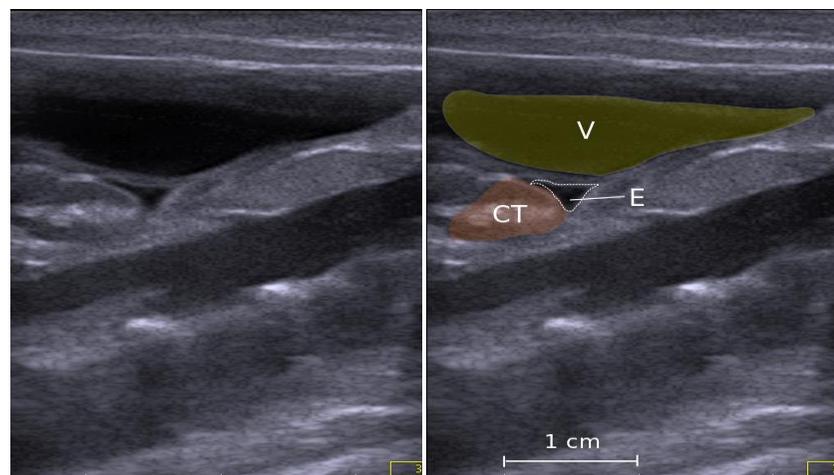


Figure 12 : Épanchement péritonéal situé dorsalement à la vessie. V : vessie, CT : coupe transversale d'une anse digestive, E : épanchement périvésical.

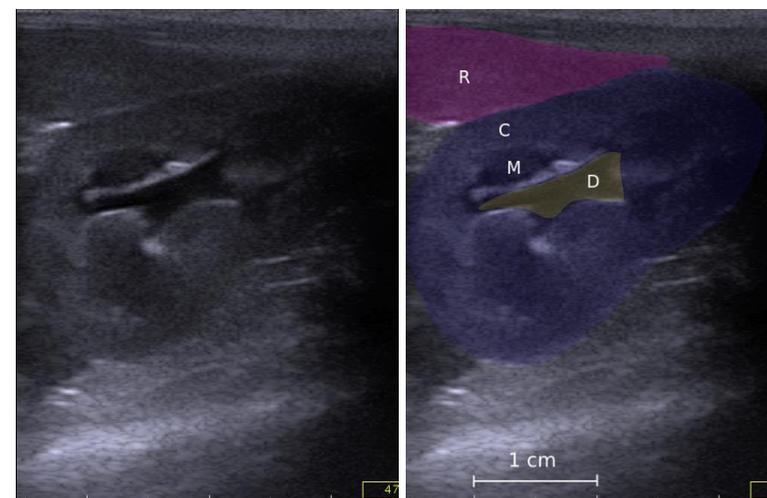


Figure 13 : Dilatation pyélique chez un chiot âgé de 20 jours. R : rate, C : cortex rénal, M : medulla rénale, D : dilatation pyélique.

## 2. À une semaine d'âge

Le cortex du rein gauche était hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique pour près d'un quart des chiots (soit 13/50, Figure 16 et 17), tandis que le reste des chiots conservait un cortex rénal isoéchogène par rapport au parenchyme splénique. La différenciation du cortex rénal en deux couches était encore visible.

La proportion de chiots présentant de l'épanchement commençait à diminuer mais plus de la moitié des chiots avaient encore de l'épanchement péritonéal (soit 27/50, Figure 14). La proportion de chiots présentant une dilatation pyélique diminuait aussi, avec près d'un quart des chiots présentant encore une dilatation pyélique (soit 12/50, Figure 15).

## 3. À deux semaines d'âge

À deux semaines d'âge, les chiots avaient les yeux ouverts et la posture debout était quasiment acquise. Les selles étaient plus moulées et plus foncées qu'auparavant du fait de l'introduction de l'alimentation solide.

La plupart des chiots (96%, Figure 17) avait un rein gauche hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique (Figure 16). La différenciation corticale entre le cortex interne et externe n'était plus visible chez aucun chiot.

La moitié des chiots présentaient encore de l'épanchement péritonéal (Figure 14). La proportion de chiots présentant une dilatation pyélique continuait à diminuer : seulement 16% des chiots avaient un bassinet dilaté (soit 8/50, Figure 15).

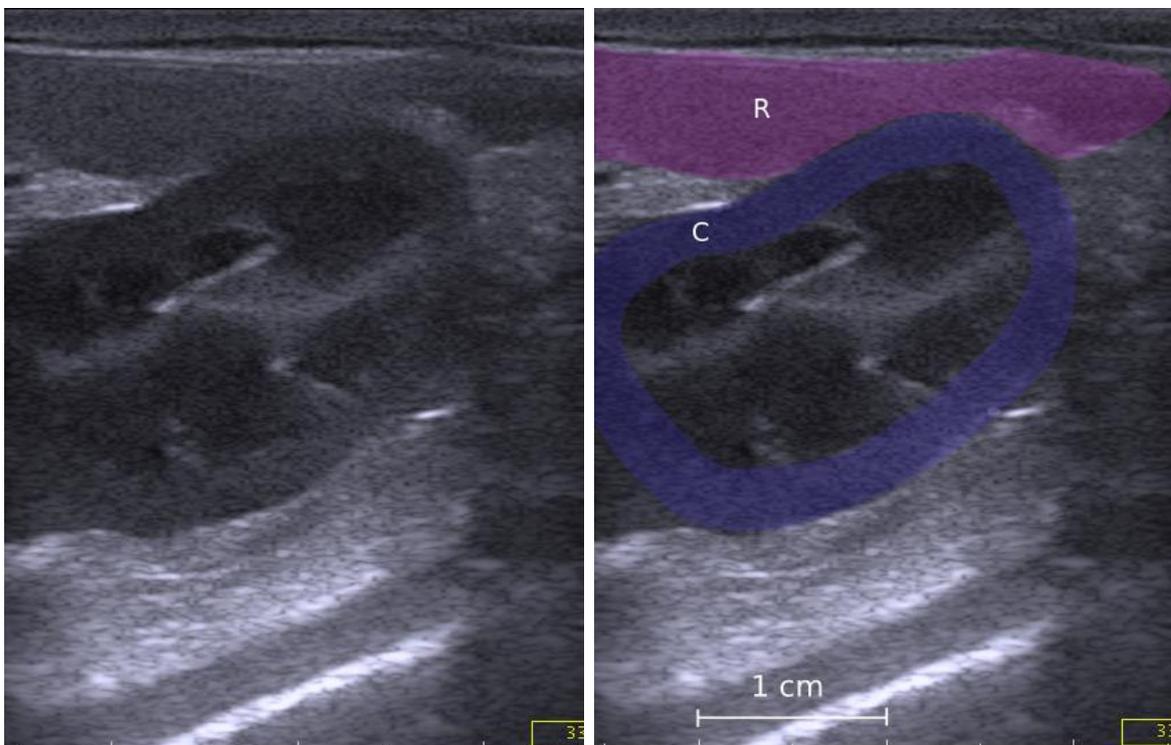


Figure 16 : Coupe longitudinale du rein gauche et de la rate. Le cortex du rein gauche est hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique. R : rate, C : cortex rénal.

#### 4. À trois semaines d'âge

À trois semaines d'âge, tous les chiots avaient les yeux ouverts, se tenaient debout et interagissaient avec leur environnement. Les selles étaient moulées et de couleur semblable à celle des adultes.

La proportion de chiots dont le rein gauche était hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique était exactement la même qu'à deux semaines d'âge, à savoir 96% (Figure 17). Le parenchyme splénique était hétérogène et présentait un aspect dit « léopardé » chez certains chiots (Figure 18). Un peu plus d'un tiers des chiots présentaient encore de l'épanchement péritonéal (soit 19/50, Figure 14). Très peu de chiots (4%) présentaient encore une dilatation pyélique (soit 2/50, Figure 15).

#### 5. À un mois d'âge

La plupart des chiots (96%) avait le rein gauche hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique (Figure 17). La rate présentait un aspect « léopardé » chez tous les chiots. Un peu plus d'un quart des chiots (28% soit 14/50) présentaient de l'épanchement péritonéal (Figure 14). Très peu de chiots (4% soit 2/50) présentaient encore une dilatation pyélique (Figure 15).

À un mois d'âge, la paroi de l'intestin grêle de tous les chiots présentait une structure en couches, visible à l'échographie (Figure 19). De la lumière vers l'extérieur de la paroi digestive, on observait une structure en couches constituée d'une muqueuse hypoéchogène, couche la plus épaisse de la paroi, d'une sous-muqueuse hyperéchogène, d'une musculature hypoéchogène (d'échogénicité similaire à la muqueuse) et d'une séreuse hyperéchogène.

À partir d'un mois d'âge, les nœuds lymphatiques (NL) mésentériques étaient très développés et donc facilement visualisables chez la majorité des chiots, certains ont été mesurés à titre indicatif et dépassaient 1cm d'épaisseur (Figure 20). Tous les NL mésentériques observés étaient hypoéchogènes par rapport au mésentère environnant et présentaient une échogénicité hétérogène, avec la présence d'une bordure hétérogène assez épaisse, entourant un centre plus échogène.

#### 6. À deux mois d'âge

Le cortex du rein gauche était hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique chez la grande majorité des chiots (49/50, Figure 17). Le parenchyme splénique était d'aspect « léopardé » chez tous les chiots (Figure 18).

Près d'un quart des chiots (24% soit 12/50) présentaient encore de l'épanchement péritonéal (Figure 14). La même proportion de chiots qu'à 1 mois d'âge (4%) présentait encore une dilatation pyélique (Figure 15).

À deux mois d'âge, les NL mésentériques observés étaient toujours de taille importante et facilement visualisables chez tous les chiots (Figure 20). Ils présentaient une échostructure identique à celle observée à un mois d'âge.

La paroi de l'intestin grêle était différenciée en 4 couches comme chez le chien adulte (Figure 19). Concernant la comparaison d'échogénicité, 99% des reins droits étaient isoéchogènes par rapport au parenchyme hépatique pendant les deux premiers mois de vie (Figure 21).

L'épanchement péritonéal précédemment décrit était majoritairement localisé dorsalement à la vessie et se caractérisait par une forme de triangle anéchogène. Nous avons également observé de l'épanchement dans l'espace rétro-péritonéal, entre les anses digestives, entre les lobes hépatiques et autour de la rate mais sans qu'aucune tendance ne se dessine au cours du temps (Figure 22).

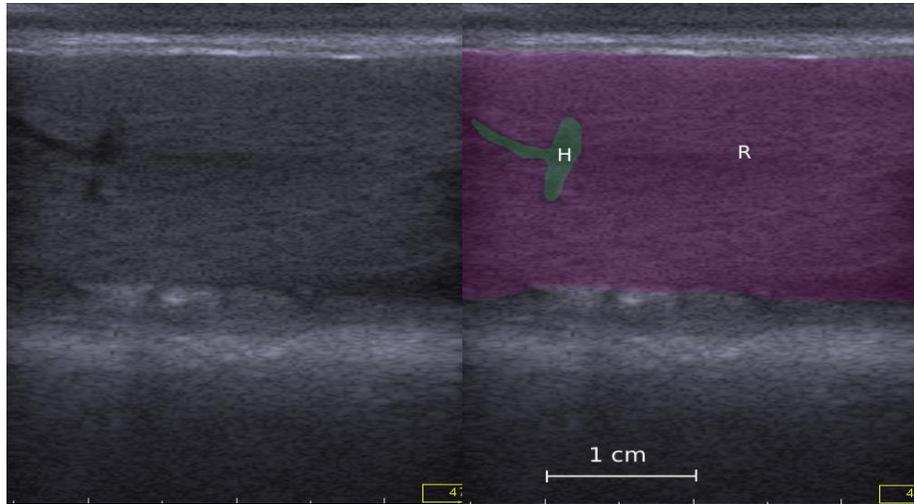


Figure 18 : Rate léopardée chez un chiot âgé de 56 jours. R : rate, H : hile splénique.

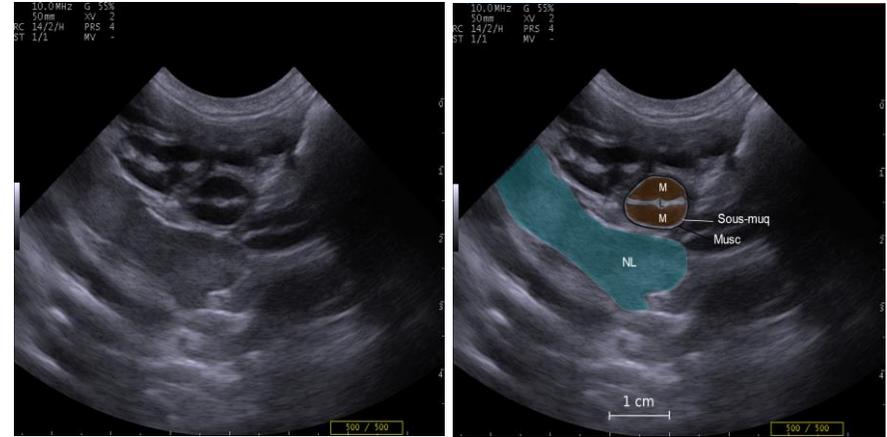


Figure 19 : Visualisation de la structure en 4 couches de la paroi d'une anse digestive en coupe transversale chez un chiot de 56 jours. L : lumière de l'anse digestive, M : couche muqueuse, Sous-muq : couche sous-muqueuse, Musc : couche musculuse, NL : nœud lymphatique.

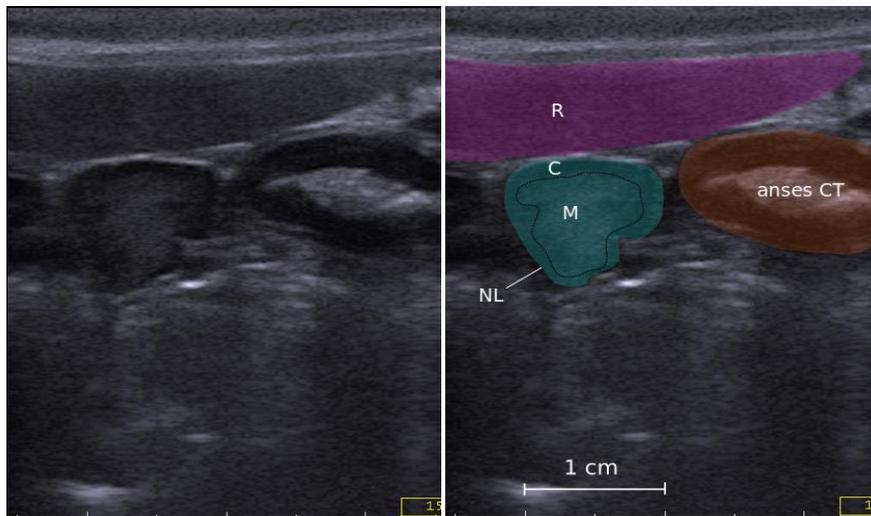


Figure 20 : Nœud lymphatique jéjunal chez un chiot de 56 jours.

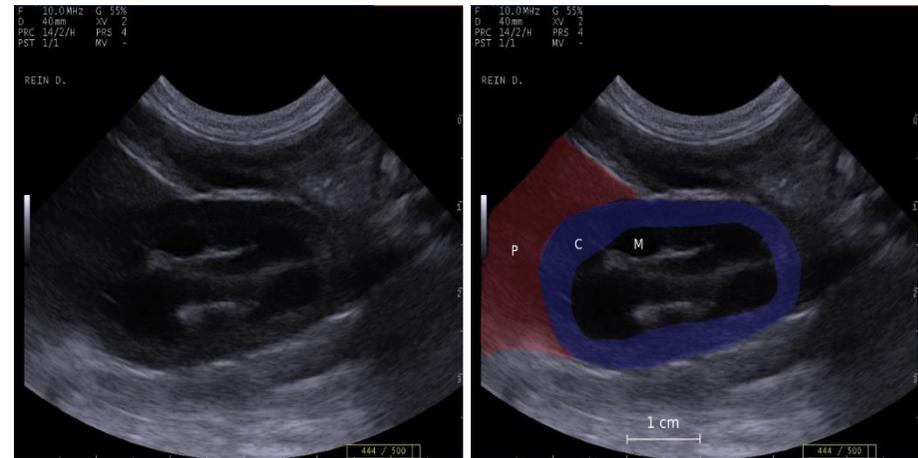


Figure 21 : Cortex du rein droit isoéchogène par rapport au parenchyme hépatique chez un chiot de 21 jours. P : parenchyme hépatique, C : cortex rénal, M : medulla rénale.

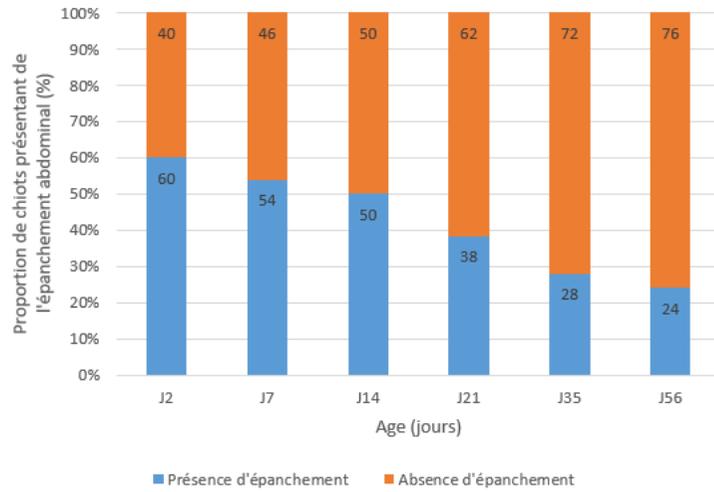


Figure 14 : Evolution du pourcentage de chiots ayant ou non de l'épanchement péritonéal au cours des deux premiers mois de vie. (n=50)

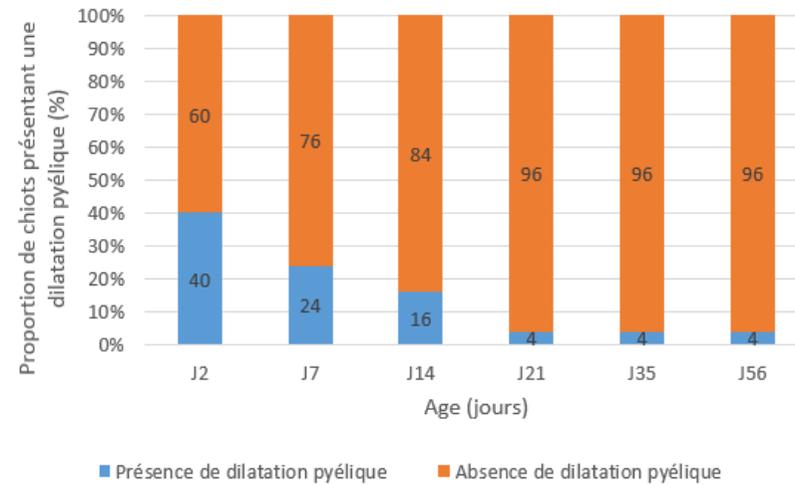


Figure 15 : Evolution du pourcentage de chiots présentant une dilatation pyélique au cours des deux premiers mois de vie chez l'ensemble des chiots. (n=50)

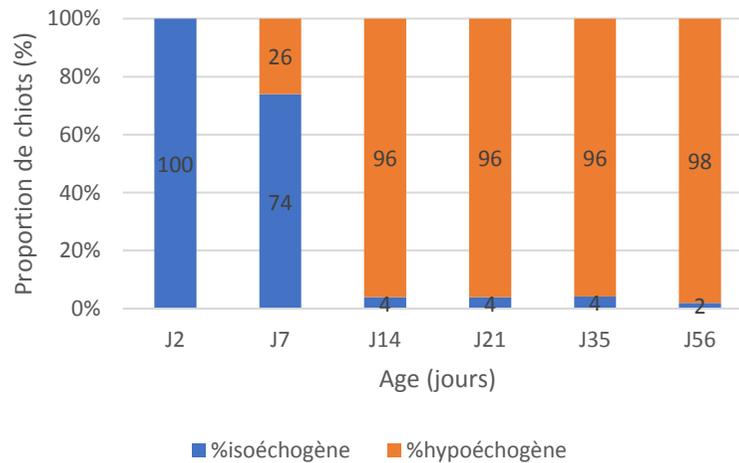


Figure 17 : Evolution de l'échogénicité du cortex du rein gauche par rapport au parenchyme splénique au cours des deux premiers mois de vie. (n=50)

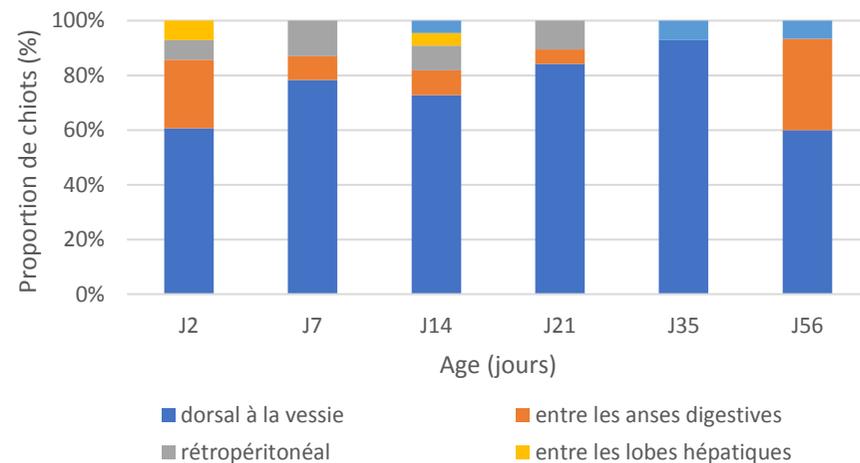


Figure 22 : Evolution de la localisation de l'épanchement péritonéal au cours des deux premiers mois de vie chez l'ensemble des chiots. (n=50)

## D. Effet de l'âge sur les paramètres quantitatifs

Nous avons étudié l'effet de l'âge sur l'ensemble des paramètres de morphométrie externe et sur les différentes mesures des organes échographiés (Figures 23 à 34).

### 1. Paramètres de morphométrie externe

#### a) Poids

Le poids moyen variait de  $0,51(\pm 0,08)$  kg à 2 jours d'âge à  $7,18(\pm 0,76)$  kg à 56 jours d'âge.

Le poids moyen était statistiquement différent entre les différents âges auxquels les mesures morphométriques ont été réalisées ( $p < 0,001$ , Figure 23). La croissance pondérale suivait une courbe de croissance exponentielle. Durant la période néonatale, ce qui correspond aux 3 premières semaines de vie du chiot, le poids des chiots était en moyenne multiplié par  $4(\pm 0,4)$ . Durant la période pédiatrique, ce qui correspond à la période entre 21 et 56 jours d'âge, le poids était multiplié par  $3,6(\pm 0,5)$ .

#### b) Circonférence de la tête

La circonférence de la tête variait en moyenne de  $14,5(\pm 0,8)$  cm à 2 jours d'âge à  $28,1(\pm 1,1)$  cm à 56 jours d'âge. La circonférence de la tête était statistiquement différente d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 23). La croissance de la tête était rapide jusqu'à 35 jours d'âge puis ralentissait jusqu'à 56 jours d'âge. Durant la période néonatale, la circonférence de la tête était en moyenne multipliée par  $1,5(\pm 0,0)$ , puis elle était multipliée par  $1,3(\pm 0,1)$  entre 21 et 56 jours d'âge.

#### c) Circonférence thoracique

La circonférence thoracique moyenne variait de  $16,5(\pm 1,1)$  cm à 2 jours d'âge à  $39,8(\pm 1,8)$  cm à 56 jours d'âge. La circonférence thoracique était statistiquement différente entre les différents âges ( $p < 0,001$ , Figure 23). La circonférence thoracique augmentait de façon linéaire au cours des deux premiers mois de la vie du chiot. Durant la période néonatale, la circonférence thoracique des chiots était en moyenne multipliée par  $1,6(\pm 0,1)$ , puis elle était multipliée par  $1,5(\pm 0,1)$  entre 21 et 56 jours d'âge. Ainsi pendant les 2 premiers mois de vie, la circonférence thoracique était presque triplée.

#### d) Longueur os occipital-croupe

La longueur os occipital-croupe variait en moyenne de  $16,8(\pm 1,2)$  cm à 2 jours d'âge à  $44,1(\pm 2,2)$  cm à 56 jours d'âge. La longueur os occipital-croupe était statistiquement différente d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 23). La croissance en longueur du chiot se faisait de façon linéaire pendant les deux premiers mois de vie. Durant la période néonatale, la longueur du chiot était en moyenne multipliée par  $1,6(\pm 0,1)$ , puis de manière identique, elle était multipliée par  $1,6(\pm 0,1)$  entre 21 et 56 jours d'âge.

#### e) Volume corporel

Le volume corporel moyen du chiot variait de  $366,7(\pm 67,1)$  cm<sup>3</sup> à 2 jours d'âge à  $5584,6(\pm 713,3)$  cm<sup>3</sup> à 56 jours d'âge. Le volume du chiot étant calculé à partir des paramètres morphométriques, il était attendu de constater que le volume corporel était également statistiquement différent d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 23) et qu'il augmentait au cours du temps. Comme le poids, la croissance en volume corporel suivait une courbe d'allure exponentielle classique.

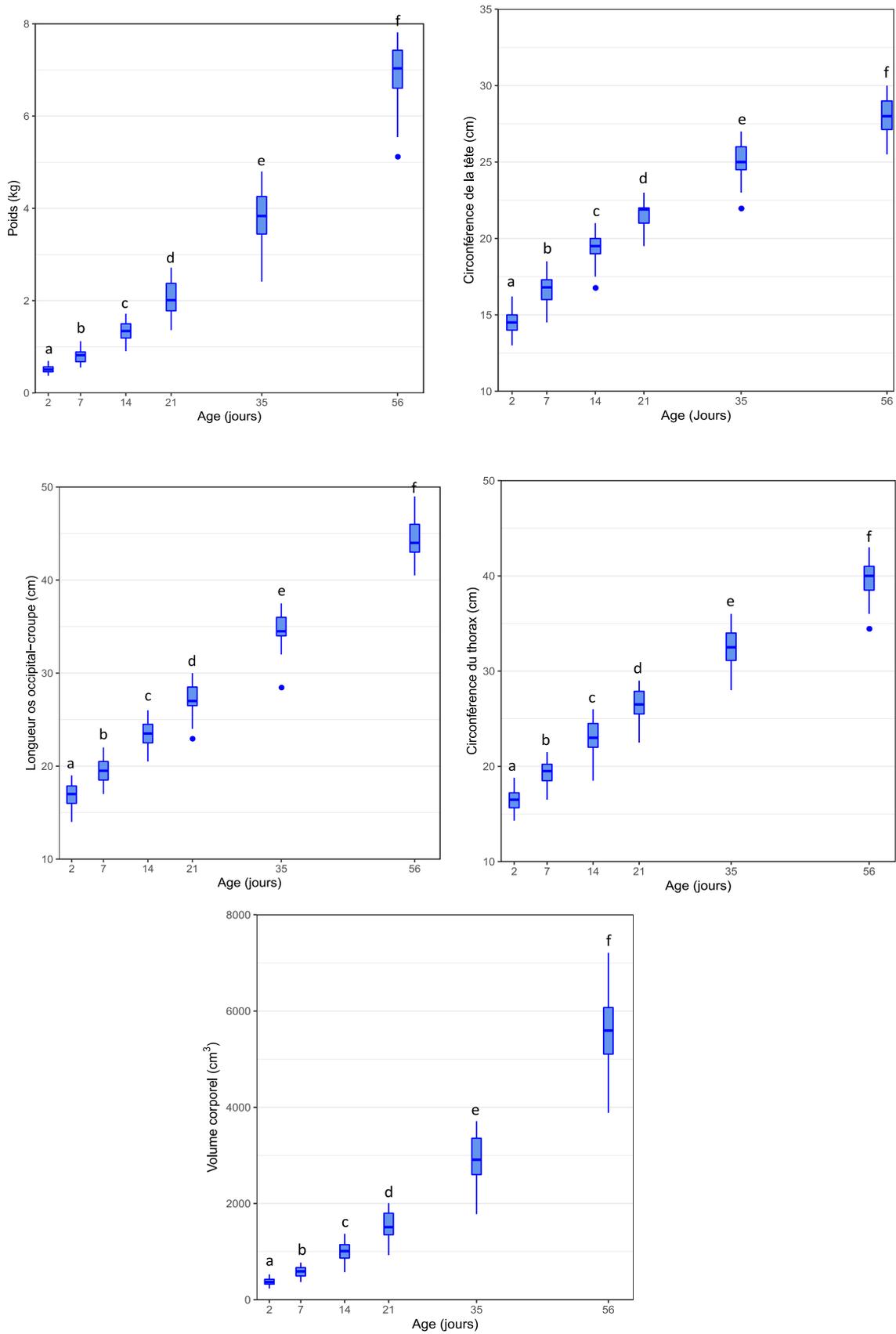


Figure 23 : Evolution des paramètres morphométriques (poids, circonférence de la tête, longueur os occipital-croupe, circonférence du thorax, volume corporel) au cours des deux premiers mois de vie. (n=50)  
 Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative  
 Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

## 2. Foie

### a) Surface de la coupe du lobe hépatique

La surface moyenne de la coupe du lobe hépatique variait de  $5,39(\pm 0,85)$  cm<sup>2</sup> à 2 jours d'âge à  $26,13(\pm 2,94)$  cm<sup>2</sup> à 56 jours d'âge. La surface de la coupe du lobe hépatique augmentait statistiquement d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 24). La croissance en surface du lobe hépatique suivait une courbe d'allure exponentielle.

La surface de la coupe du lobe hépatique était en moyenne doublée durant les 3 premières semaines de vie, puis elle était multipliée par  $2,5(\pm 0,4)$  entre 21 et 56 jours d'âge.

### b) Ratio Surface de la coupe du lobe hépatique/Poids corporel

Le ratio entre la surface de la coupe du lobe hépatique et le poids du chiot variait en moyenne de  $10,56(\pm 1,13)$  cm<sup>2</sup>/kg à 2 jours d'âge à  $3,66(\pm 0,43)$  cm<sup>2</sup>/kg à 56 jours d'âge. Ce ratio était statistiquement différent d'un âge à l'autre jusqu'à 56 jours d'âge ( $p < 0,001$ , Figure 25). La figure 25 montre une diminution importante et statistiquement significative du ratio pendant les premières semaines de vie. En effet, le ratio perdait  $49,7(\pm 9,0)\%$  de sa valeur durant les 3 premières semaines de vie, soit une diminution de moitié. Le ratio perdait ensuite  $29,0(\pm 11,8)\%$  de sa valeur entre 21 et 56 jours d'âge, soit une diminution de presque un tiers.

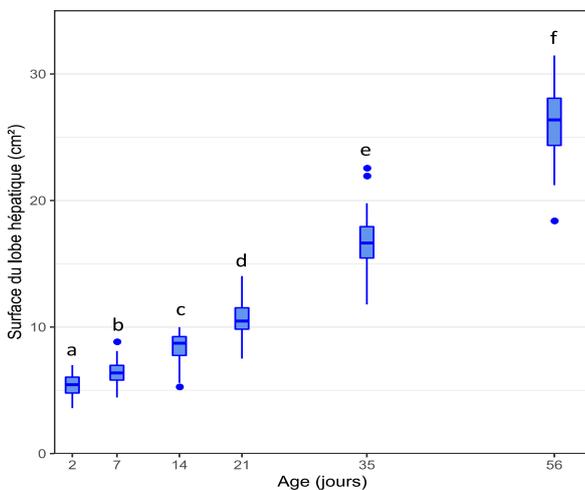


Figure 24 : Evolution de la surface de la coupe du lobe hépatique (lobe médial gauche) au cours des deux premiers mois de vie. (n=50)

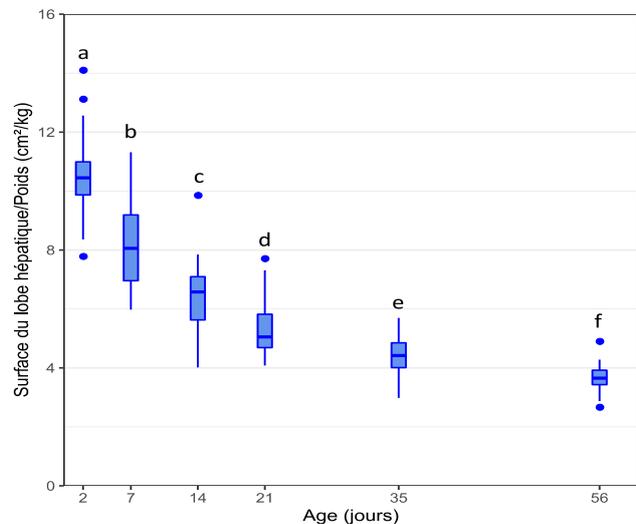


Figure 25 : Evolution du ratio entre la surface de la coupe du lobe hépatique et le poids. (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative

Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

### 3. Reins

#### a) Longueur en coupe sagittale

La longueur moyenne du rein gauche en coupe sagittale variait de  $2,52(\pm 1,2)$  cm à 2 jours d'âge à  $5,71(\pm 0,42)$  cm à 56 jours d'âge. La longueur moyenne du rein droit en coupe sagittale variait de  $2,68(\pm 0,18)$  cm à 2 jours d'âge à  $6,03(\pm 0,39)$  cm à 56 jours d'âge. Pour les deux reins, la longueur en coupe sagittale était statistiquement différente d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 26). Cette longueur augmentait de façon significative au cours du temps pour les deux reins. En effet, durant la période néonatale, pour les deux reins, la longueur était en moyenne multipliée par  $1,6(\pm 0,1)$ , puis elle était multipliée par  $1,5(\pm 0,1)$  entre 21 et 56 jours d'âge.

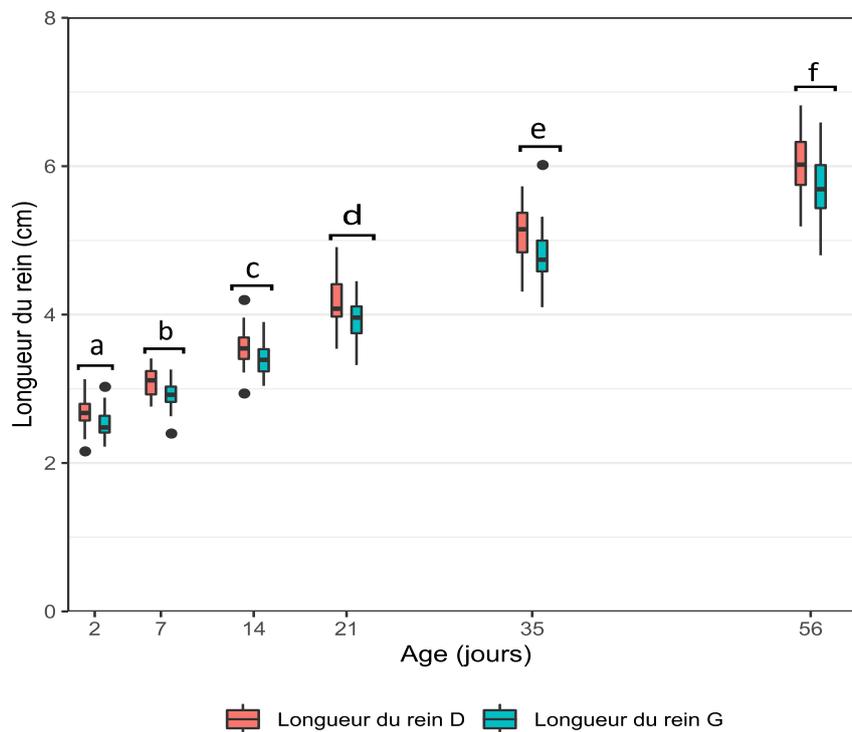


Figure 26 : Evolution comparée de la longueur des reins droit et gauche. (n=50)  
Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative  
Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

#### ❖ Comparaison entre les longueurs du rein gauche et du rein droit

Sur le graphique montrant l'évolution de la longueur du rein droit et du rein gauche en fonction du temps (Figure 26), la longueur du rein droit semblait en moyenne plus grande que la longueur du rein gauche, et ce quel que soit l'âge considéré. Ainsi, il a été décidé d'évaluer si cette différence de longueur était réellement présente.

Sur la figure 27, tout au long des deux premiers mois de vie, le rein droit était plus long que le rein gauche chez environ  $\frac{3}{4}$  des chiots, voire chez la quasi-totalité d'entre eux à 35 jours d'âge (92%). Cette différence de longueur augmentait au cours des deux premiers mois de vie. En effet, à 56 jours d'âge, le rein droit était 6% plus long que le rein gauche contre 4,2% à deux jours d'âge, soit une augmentation régulière de 0,3-0,4% entre deux périodes (figure 27).

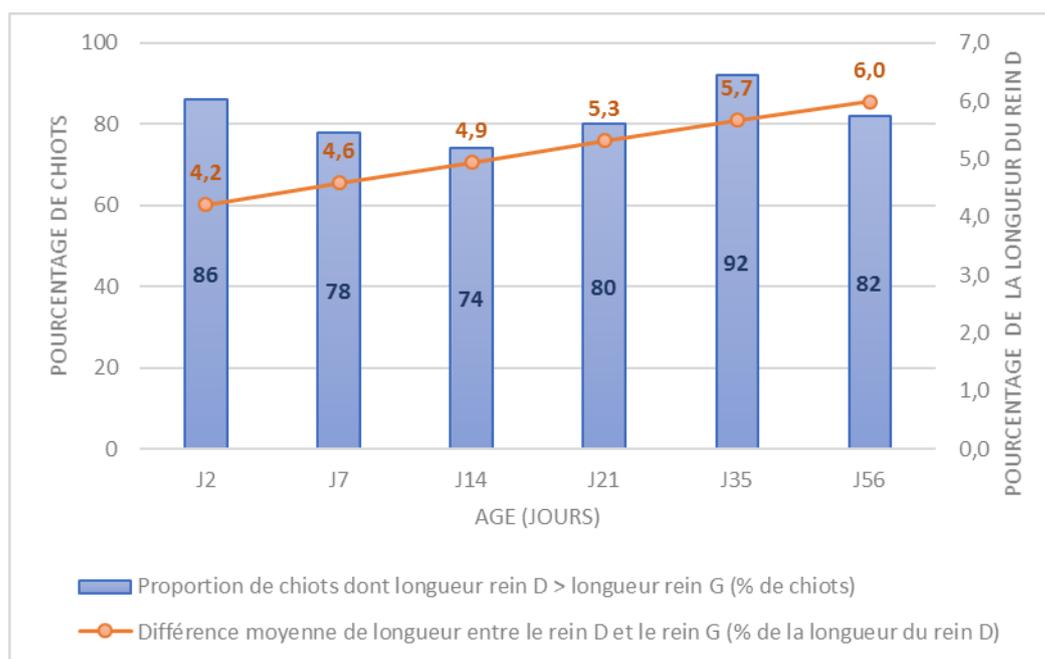


Figure 27 : Evolution de la différence de longueur entre les deux reins en coupe longitudinale au cours des deux premiers mois de vie. (n=50)

Nous avons ensuite voulu voir si cette différence de longueur entre les deux reins, constatée chez une grande proportion de chiots, était statistiquement significative.

L'application d'un t-test montre que la différence de longueur entre le rein droit et le rein gauche était non nulle pour chaque âge (t-test,  $p < 0,001$ , Figure 28). Ceci indique que la longueur moyenne du rein droit était significativement plus importante que celle du rein gauche tout au long des deux premiers mois de vie du chiot. La différence de longueur moyenne entre le rein droit et le rein gauche variait de  $1,6(\pm 1,6)$  mm à 2 jours d'âge à  $3,2(\pm 3,4)$  mm à 56 jours d'âge (en moyenne sur les 56 jours, on observait 2,3 mm de différence de longueur). L'écart-type étant très proche de la moyenne, cela montre une importante dispersion des valeurs de différence de longueur rein droit/rein gauche.

Bien que cette différence de longueur existe chez une grande majorité de chiots, on voit qu'elle était minimale en centimètres et qu'elle n'excédait pas la résolution latérale des sondes échographiques utilisées, qui varie usuellement de 1 à 5 mm.

Si on ramène cette différence à la longueur du rein (c'est-à-dire la différence de longueur entre les deux reins, en pourcentage de la longueur du rein droit), le rein droit était en moyenne 5,3(±6,0) % plus long que le rein gauche au cours des deux premiers mois de la vie du chiot.

Il n'y avait pas de différence significative de ce paramètre d'un âge à l'autre (Figure 28,  $p > 0,05$ ), c'est-à-dire que pour tous les âges, il existe une différence constante de longueur entre le rein droit et le rein gauche et qu'elle est en moyenne de 5,3 %.

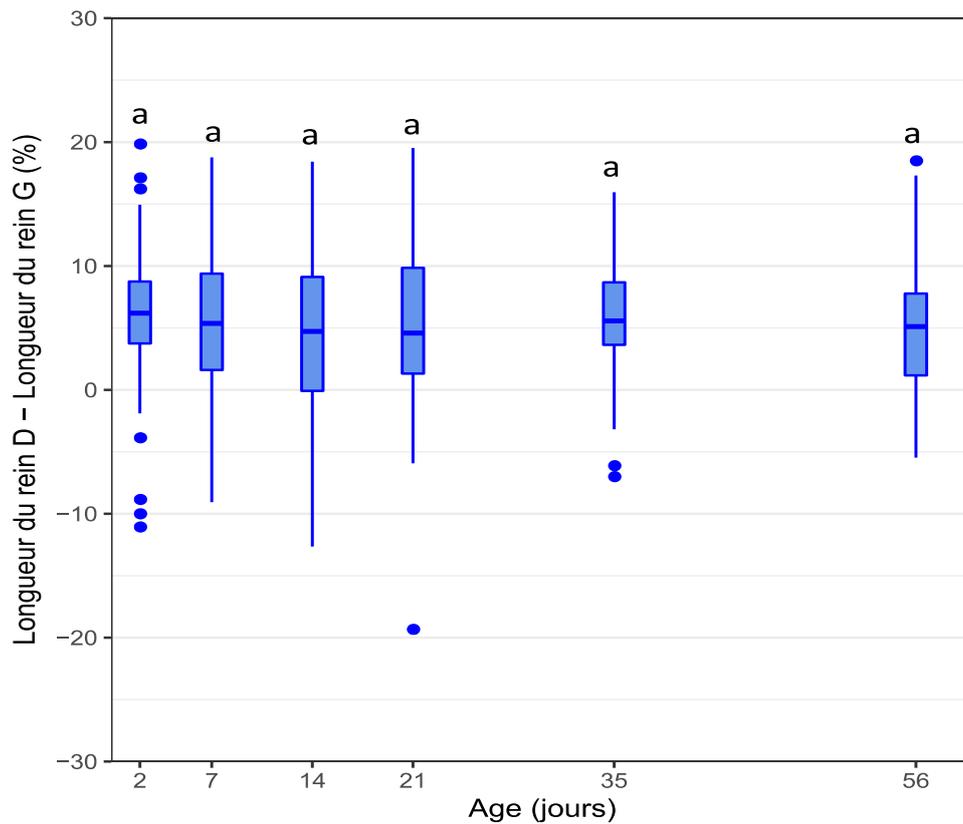


Figure 28 : Evolution de la différence entre la longueur du rein droit et du rein gauche exprimée en pourcentage de la longueur du rein droit. (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative

Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

❖ Ratio Longueur du rein gauche/Longueur du chiot

Le ratio moyen de la longueur en coupe sagittale du rein gauche sur la longueur os occipital-croupe variait de  $15,0(\pm 1,0)$  à 2 jours d'âge à  $13,0(\pm 1,0)$  à 56 jours d'âge. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les ratios à 2 et 7 jours d'âge, c'est-à-dire qu'au cours de la première semaine de vie, le ratio restait constant (Figure 29,  $p > 0,05$ ). Le ratio diminuait ensuite de manière statistiquement significative dès 7 jours d'âge : le ratio était significativement plus faible à J14 et à J21 par rapport à J7 et significativement plus faible à J35 par rapport à J14 et à J21. Ceci indique que la longueur globale du chiot augmentait plus vite que celle du rein à partir de 7 jours d'âge.

Durant toute la période néonatale, le ratio était stable (multiplié par  $1,0(\pm 0,1)$ ) en 3 semaines puis le ratio diminuait très légèrement (multiplié par  $0,9(\pm 0,1)$ ) entre 21 et 56 jours d'âge.

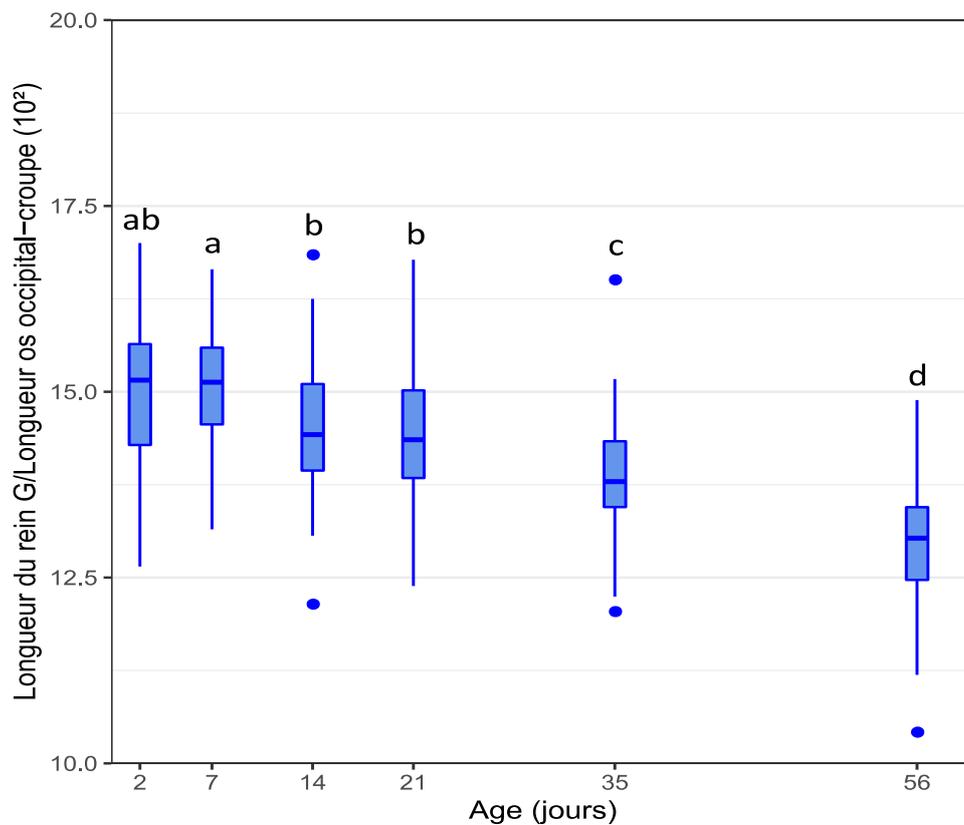


Figure 29 : Evolution du ratio entre la longueur du rein gauche en coupe sagittale et la longueur os occipital-croupe. (n=50)  
Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative  
Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

## b) Volume rénal

### ❖ Volume rénal total

Le volume rénal moyen (somme des deux volumes rénaux) variait de  $4,4(\pm 0,8)$  cm<sup>3</sup> à 2 jours d'âge à  $42,1(\pm 7,4)$  cm<sup>3</sup> à 56 jours d'âge. Le volume rénal augmentait de façon significative d'une classe d'âge à la suivante ( $p < 0,001$ ). Entre la naissance et J21 (3 semaines), il était en moyenne multiplié par  $3,5(\pm 0,6)$ , puis par  $2,8(\pm 0,6)$  entre 21 et 56 jours d'âge (5 semaines).

### ❖ Volume rénal RG et RD

Le volume du rein droit moyen variait de  $2,2(\pm 0,4)$  cm<sup>3</sup> à 2 jours d'âge à  $21,3(\pm 4,3)$  cm<sup>3</sup> à 56 jours d'âge et le volume du rein gauche variait de  $2,2(\pm 0,5)$  cm<sup>3</sup> à 2 jours d'âge à  $20,9(\pm 3,9)$  cm<sup>3</sup> à 56 jours d'âge. Le volume du rein gauche et le volume du rein droit étaient statistiquement différents d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 30). La croissance en volume des deux reins suivait une courbe d'allure exponentielle.

Le volume de chaque rein était en moyenne multiplié par  $3,5(\pm 0,7)$  entre J0 et J21, puis il était quasiment triplé (multiplié par  $2,8(\pm 0,7)$  entre 21 et 56 jours d'âge.

### ❖ Différence de volume

La différence moyenne de volume entre le rein droit et le rein gauche variait de  $-0,01(\pm 0,4)$  cm<sup>3</sup> à 2 jours d'âge à  $0,40(\pm 3,5)$  cm<sup>3</sup> à 56 jours d'âge. Cependant, les valeurs prises par cette différence sont regroupées autour de 0 pour tous les âges. De plus, l'application d'un t-test montre que la différence de volume n'était pas statistiquement différente de 0 jusqu'à 56 jours d'âge (t test,  $p > 0,05$ ), ce qui signifie que les deux reins étaient de volumes équivalents pendant les deux premiers mois de vie du chiot.

Il n'y a donc pas de différence de volume entre les deux reins, quel que soit l'âge durant les deux premiers mois de vie du chiot.

### ❖ Volume rénal total/poids

Le ratio entre le volume rénal total et le poids du chiot variait en moyenne de  $8,6(\pm 1,2)$  cm<sup>3</sup>/kg à 2 jours d'âge à  $5,9(\pm 0,9)$  cm<sup>3</sup>/kg à 56 jours d'âge. Ce ratio avait tendance à diminuer au cours des deux premiers mois. La figure 31 traduit une diminution progressive du volume rénal/kg au cours des deux premiers mois de vie ( $p < 0,001$ ) : le ratio perdait en moyenne  $12,8(\pm 12,3)\%$  de sa valeur durant la période néonatale, puis il perdait en moyenne  $20,4(\pm 13,3)\%$  de sa valeur entre 21 et 56 jours d'âge. Ceci montre que les reins avaient une taille relative dans le corps de moins en moins importante au cours de la croissance du chiot.

### ❖ Volume rénal total/Vchiot

Le ratio entre le volume rénal total et le volume corporel du chiot variait en moyenne de  $1,0(\pm 0,2)\%$  à 2 jours d'âge à  $0,8(\pm 0,1)\%$  à 56 jours d'âge. Ce ratio diminuait de façon constante au cours des deux premiers mois de vie. Pour les chiots âgés de 2 jours, le volume corporel était 84 fois plus grand que le volume rénal ; à J21, il était 100 fois plus grand que le volume rénal, et à J56, il était 125 fois plus grand que le volume rénal. En effet, le ratio perdait en moyenne  $17,0(\pm 13,9)\%$  de sa valeur durant la période néonatale, puis il perdait presque un quart de sa valeur (soit  $22,8(\pm 13,8)\%$ ) entre 21 et 56 jours d'âge.

Les ratios entre le volume rénal total et le poids et entre le volume rénal total et le volume corporel du chiot permettent de visualiser la taille relative qu'occupent les reins dans le corps : on remarque que la taille relative des reins diminue au fur et à mesure que le chiot grandit (en volume et en poids).

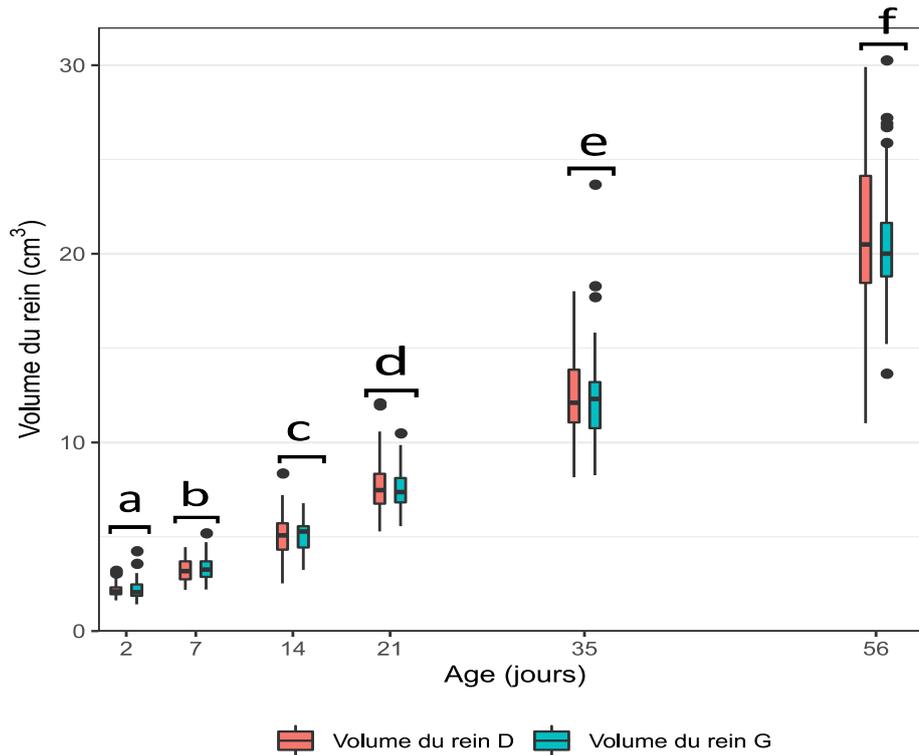


Figure 30 : Evolution comparée du volume des reins droit et gauche. (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative  
 Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

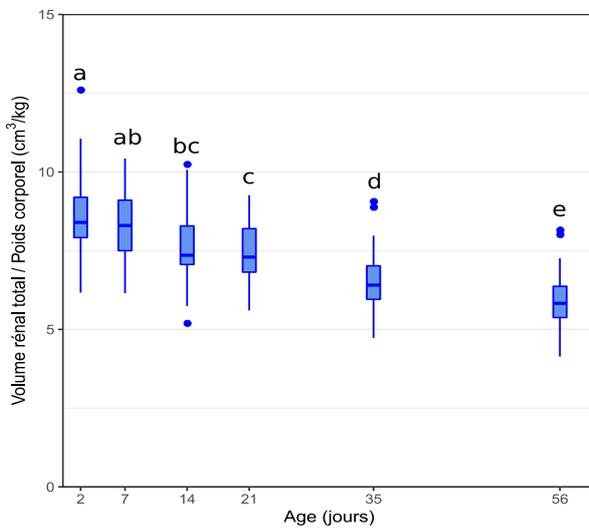


Figure 31 : Evolution du ratio entre le volume rénal total et le poids corporel. (n=50)

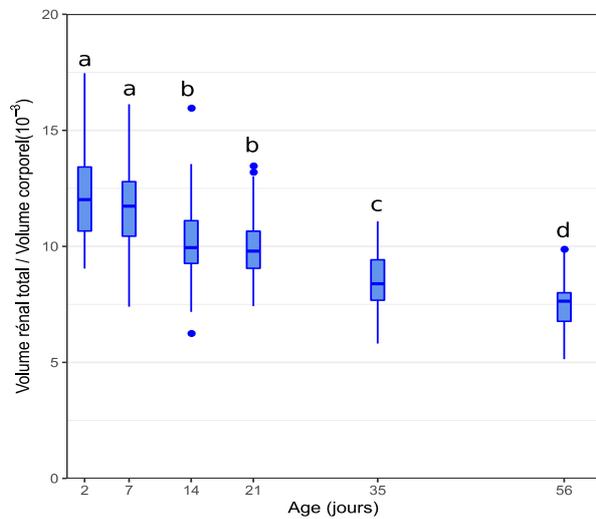


Figure 32 : Evolution du ratio entre le volume rénal total et le volume corporel du chiot. (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative  
 Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

#### 4. Rate

L'épaisseur moyenne de la rate variait de 4,2( $\pm$ 0,6) mm à 2 jours d'âge à 11,1( $\pm$ 1,3) mm à 56 jours d'âge. L'épaisseur de la rate augmentait significativement d'un âge à l'autre ( $p < 0,001$ , Figure 33). Durant la période néonatale, l'épaisseur de la rate était en moyenne quasi doublée (épaisseur multipliée par 1,8( $\pm$ 0,3)), puis elle était multipliée par 1,5( $\pm$ 0,3) entre 21 et 56 jours d'âge.

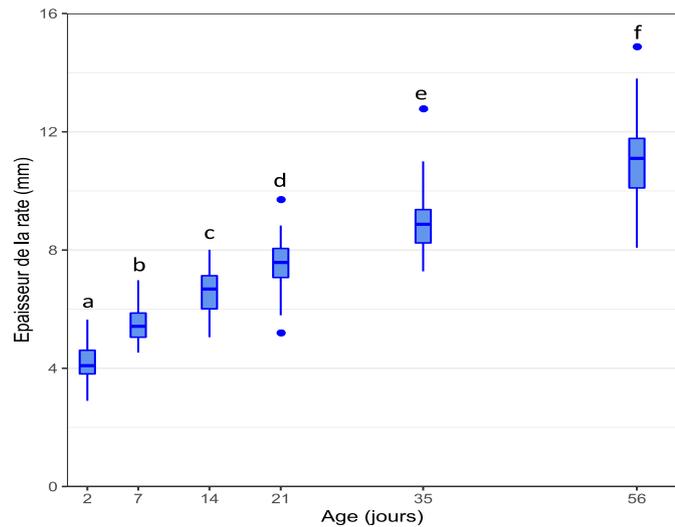


Figure 33 : Evolution de l'épaisseur de la rate. (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative

Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

#### 5. Muqueuse intestinale

L'épaisseur moyenne de la muqueuse intestinale en coupe transversale était de 1,7( $\pm$ 0,2) mm à 2 jours d'âge et de 2,5( $\pm$ 0,3) à 56 jours d'âge, avec une grande dispersion des valeurs. Elle augmentait au cours des deux premiers mois de vie ( $p < 0,001$ , Figure 34).

L'épaisseur moyenne de la muqueuse intestinale en coupe longitudinale variait de 1,4( $\pm$ 0,2) mm à 2 jours d'âge à 2,00( $\pm$ 0,29) mm à 56 jours d'âge, avec une évolution similaire de l'épaisseur à celle observée en coupe transversale.

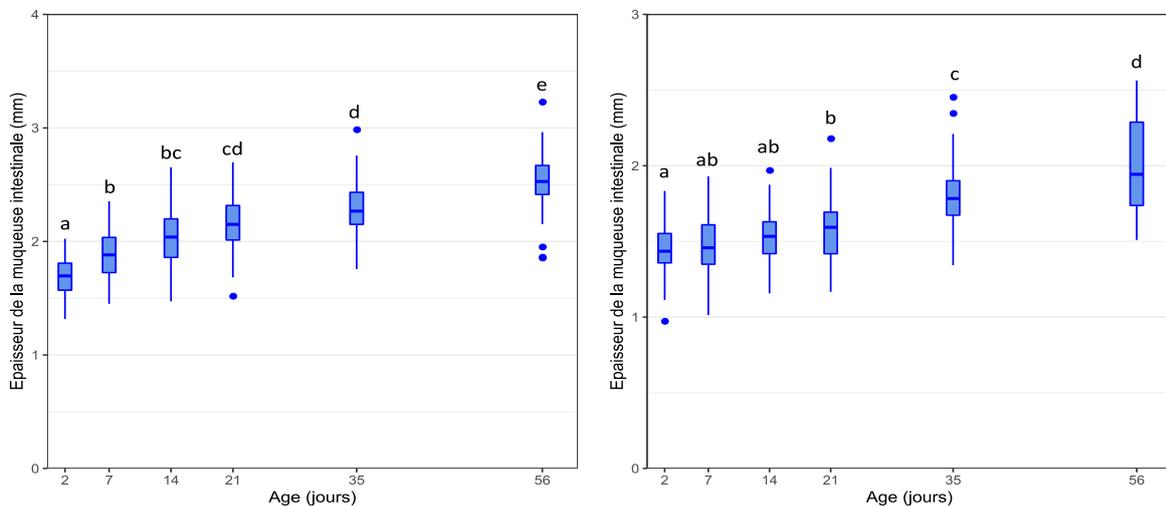


Figure 34 : Evolution de l'épaisseur de la muqueuse intestinale en coupe transversale (graphique à gauche) et en coupe longitudinale (graphique à droite). (n=50)

Lettres communes entre deux échantillons (a-a) = pas de différence significative

Lettres différentes entre deux échantillons (a-b) = différence significative

## E. Gain journalier des paramètres morphométriques et des dimensions des organes

### 1. Paramètres morphométriques

Le gain journalier évoluait de manière similaire pour les 4 paramètres mesurés (poids, circonférence de la tête, circonférence thoracique, longueur os occipital-croupe ; Figure 35) avec une croissance importante durant les premiers jours de vie qui ralentissait progressivement dans les semaines qui suivaient. Par exemple pour le poids corporel, entre 2 et 7 jours d'âge, le chiot gagnait plus de 11,3% de son poids chaque jour, tandis qu'au cours du deuxième mois de vie, le gain de poids était diminué par plus de deux, le chiot ne gagnant plus que 4,3% de son poids chaque jour. Pour les autres paramètres morphométriques, le gain journalier était moins important que pour le poids : il était environ 3 fois moins important que pour le poids, à âge égal.

### 2. Gain journalier des dimensions des organes

Globalement, comme pour les paramètres morphométriques, le gain journalier des dimensions échographiques des organes était maximal dans les premiers jours de vie du chiot (sauf pour le foie) ; ensuite le gain diminuait progressivement jusqu'à J56 (Figure 36). En effet, le gain journalier diminuait légèrement voire stagne pour certains organes entre 7 et 21 jours d'âge et ensuite, on observe une diminution plus rapide entre 21 et 56 jours d'âge.

Pour des raisons de lisibilité du graphique, le gain journalier de longueur du rein droit n'a pas été représenté sur la Figure 36, car la courbe était quasi superposée à celle représentant le gain journalier de longueur du rein gauche.

On distingue deux profils d'évolution différents selon l'organe. La rate et le volume rénal total montraient une diminution très importante du gain journalier dès 7 jours d'âge, ce qui traduit un ralentissement important de la croissance de la rate et des reins à partir de la première semaine de vie ; ensuite le gain journalier se maintenait jusqu'à J21 et re diminuait de manière importante jusqu'à J56. Pour la longueur des reins et le foie, le gain restait quasiment constant pendant les 3 premières semaines de vie puis chutait à partir de 3 semaines d'âge, ce qui traduit un ralentissement important de la croissance des organes, coïncidant avec la fin de la période néonatale. Ceci montre que la croissance en longueur des reins et de la surface de la coupe hépatique se faisait principalement pendant la période néonatale puis la croissance ralentissait de manière importante tandis que la croissance en épaisseur de la rate et la croissance en volume des reins se faisait majoritairement durant la première semaine de vie puis ralentissait dès J7.

Par ailleurs, si on compare la croissance en longueur du rein gauche (Figure 36) avec la croissance en longueur de la totalité du corps (longueur os occipital-croupe, Figure 35), on constate que les deux évoluent de façon similaire.

En termes d'intensité, la vitesse de croissance du poids et celle du volume rénal total sont de même intensité (% de gain similaire). Les autres paramètres morphométriques (Figure 35) et les dimensions des organes (Figure 36) avaient des gains 3 fois moindres.

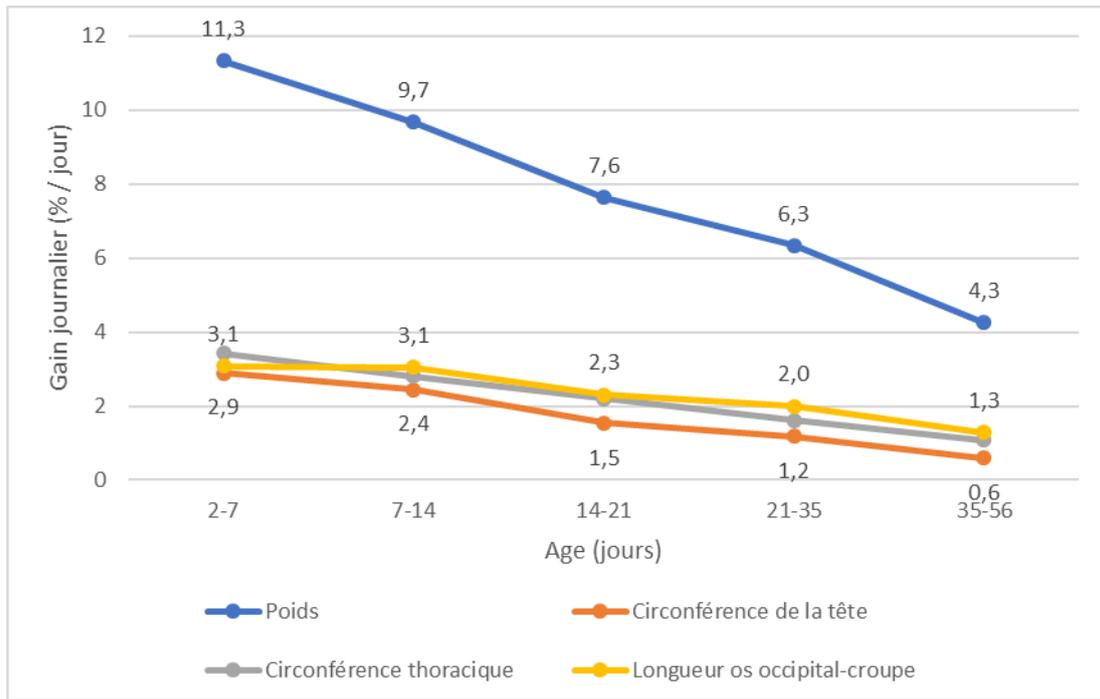


Figure 35 : Gains journaliers des paramètres morphométriques (n=50)

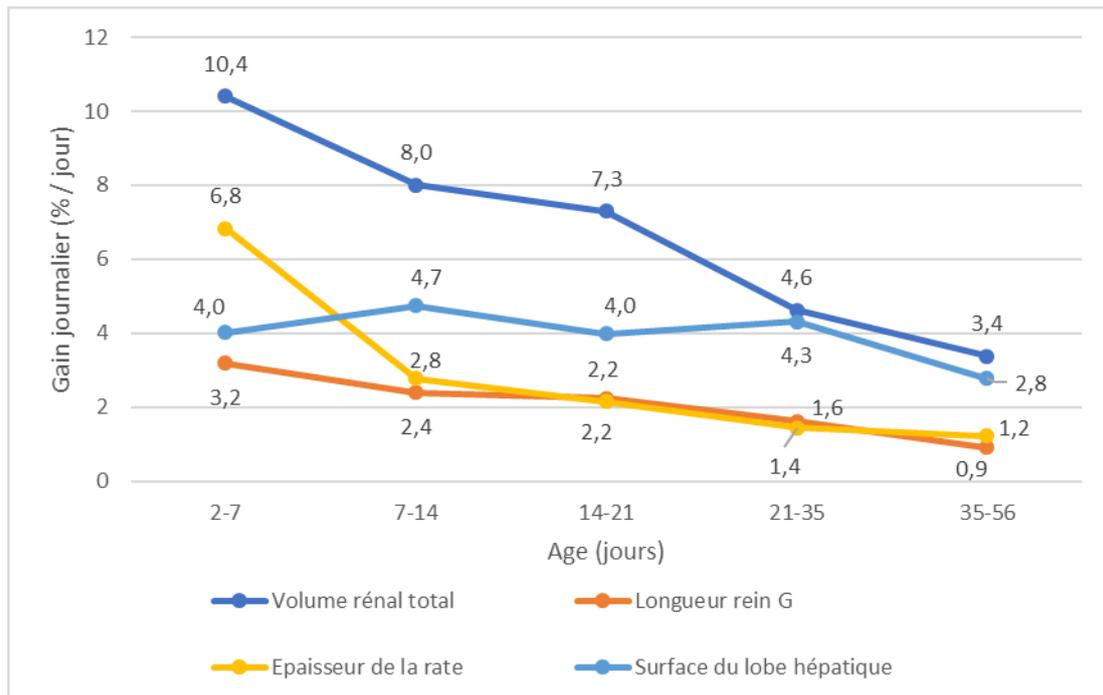


Figure 36 : Gains journaliers des organes (n=50)

## F. Corrélation entre la morphométrie externe et les dimensions des organes

La relation entre les dimensions des organes et les paramètres morphométriques externes était de type linéaire pour tous les organes. Une analyse de corrélation de Pearson, permettant le calcul de coefficients de corrélation linéaire (R), a été réalisée selon la même méthode que celle utilisée dans plusieurs études antérieures dont deux études qui reposent également sur un suivi de chiots (Pugliese et al. 2016 ; Banzato et al. 2017).

Les coefficients de corrélation linéaire obtenus entre les paramètres morphométriques et la dimension des organes à chaque âge sont présentés dans le tableau. La longueur et la hauteur en coupe sagittale des deux reins et la surface de la coupe du lobe hépatique présentaient des coefficients de corrélation linéaire très élevés avec tous les paramètres morphométriques au cours de la croissance (Tableau 3). Parmi tous les paramètres, les dimensions des reins présentaient la corrélation la plus élevée avec les paramètres morphométriques externes, autres que le poids, tandis que pour la surface de la coupe hépatique, la plus forte corrélation concernait le poids. Pour la rate, les coefficients de corrélation linéaires calculés étaient plus faibles que pour les autres organes, ce qui suggère que les dimensions spléniques étaient plus faiblement corrélées aux paramètres morphométriques que celles des deux autres organes étudiés.

Des coefficients de régression polynomiale de second degré ont également été calculés. Ils n'étaient que légèrement supérieurs à ceux calculés pour la régression linéaire (de l'ordre de 0,01-0,04 en plus). Ainsi pour des facilités d'interprétation, seuls les coefficients de régression linéaire ont été rapportés.

Tous les paramètres morphométriques étaient fortement corrélés avec l'âge (Tableau 4).

Tableau 3 : Coefficients de corrélation linéaire (R) entre les différentes dimensions des organes et les paramètres morphométriques et l'âge. (n=50)

Paramètres morphométriques et âge	Rein gauche		Rein droit		Foie	Rate
	Longueur	Hauteur	Longueur	Hauteur		
<b>Poids</b>	0,94	0,91	0,94	0,93	0,97	0,90
<b>Longueur os occipital-croupe</b>	0,97	0,95	0,97	0,97	0,96	0,93
<b>Circonférence de la tête</b>	0,97	0,96	0,96	0,97	0,92	0,93
<b>Circonférence thoracique</b>	0,97	0,96	0,97	0,97	0,95	0,93
<b>Age</b>	0,95	0,91	0,95	0,92	0,88	0,82

Tableau 4 : Coefficients de corrélation linéaire (R) entre les différents paramètres morphométriques et l'âge. (n=50)

Paramètres morphométriques	Poids	Longueur os occipital-croupe	Circonférence de la tête	Circonférence thoracique
<b>Âge</b>	0,97	0,98	0,96	0,97

## G. Effet du poids de naissance

Les chiots ont été séparés selon leur poids de naissance : les chiots de poids de naissance normal et ceux de petit poids de naissance (PPDN). Les chiots nés de PPDN étaient définis comme les chiots dont le poids de naissance était inférieur au premier quartile Q1 des poids de naissances des 237 chiots nés entre le 13/01/18 et le 06/05/19 soit 395 grammes (Q1 : 63 chiots, Q2 : 58 chiots, Q3 : 60 chiots, Q4 : 56 chiots).

Les moyennes et écart-types des chiots à poids de naissance normal et des PPDN concernant les différents paramètres étudiés sont reportés de manière comparative dans le tableau 5.

Tableau 5 : Moyenne et écart type (SD) des différents paramètres en fonction de la catégorie de poids de naissance

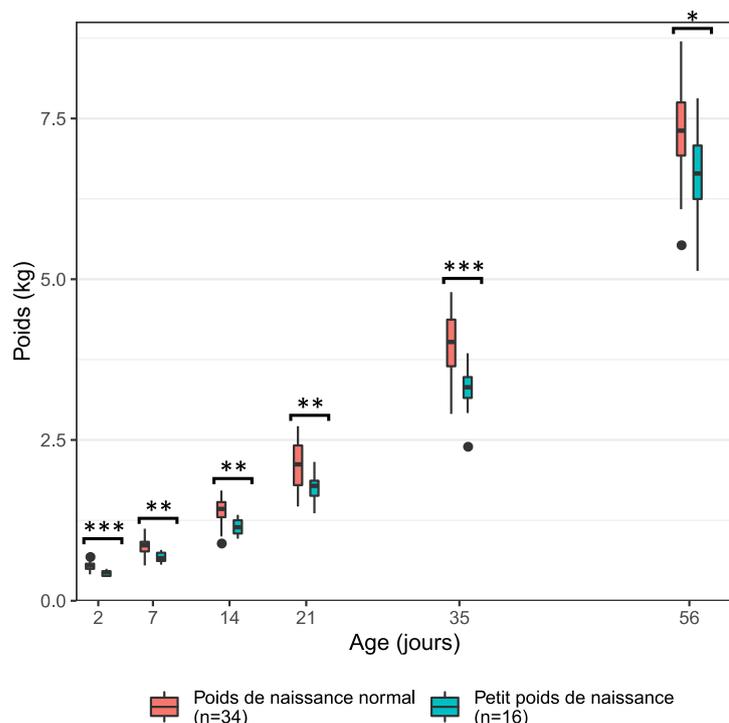
Paramètres	Age	Poids de naissance normal		PPDN	
		Moyenne	SD	Moyenne	SD
Poids (kg)	J2	0,55	0,07	0,44	0,05
	J56	7,33	0,72	6,88	0,77
Ratio Circonférence de la tête/Poids (cm/kg)	J2	27,36	2,63	31,61	2,49
	J56	3,86	0,28	4,10	0,36
Surface de la coupe du lobe hépatique (cm <sup>2</sup> )	J2	5,73	0,71	4,69	0,69
	J56	26,37	2,81	25,61	3,24
Ratio Circonférence de la tête/Surface de la coupe du lobe hépatique (cm <sup>-1</sup> )	J2	2,62	0,31	3,02	0,41
	J56	1,08	0,13	1,11	0,13
Volume du rein G (cm <sup>3</sup> )	J2	2,38	0,37	1,86	0,24
	J56	21,20	4,19	20,13	3,32
Volume du rein D (cm <sup>3</sup> )	J2	2,26	0,37	1,98	0,24
	J56	21,88	4,37	19,92	3,94

### 1. Paramètres morphométriques

Le poids moyen était statistiquement plus faible chez les chiots avec un petit poids de naissance (PPDN), par rapport aux chiots de poids de naissance normal et ce quel que soit l'âge jusqu'à 56 jours ( $p < 0,001$ , Figure 37).

Ainsi pendant les deux premiers mois de vie, les PPDN conservaient un retard de croissance pondérale qui n'était pas encore rattrapé à 56 jours d'âge.

Figure 37 : Evolution comparée du poids chez les chiots à poids de naissance normal et chez les chiots à petit poids de naissance. (n=50)  
Les symboles \*\*\*, \*\*, \* (non significatif) représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$ .



Les valeurs des autres paramètres morphométriques (circonférence de la tête, circonférence thoracique, longueur os occipital-croupe et volume corporel estimé du chiot) étaient significativement inférieures chez les chiots à PPDN par rapport aux chiots de poids de naissance normal, de 2 à 35 jours d'âge ( $p < 0,001$ , Figure 38).

A 56 jours d'âge, les PPDN présentaient des paramètres morphométriques identiques (sauf le poids) aux chiots de poids de naissance normal à partir de 56 jours d'âge ( $p > 0,05$ , figure 38).

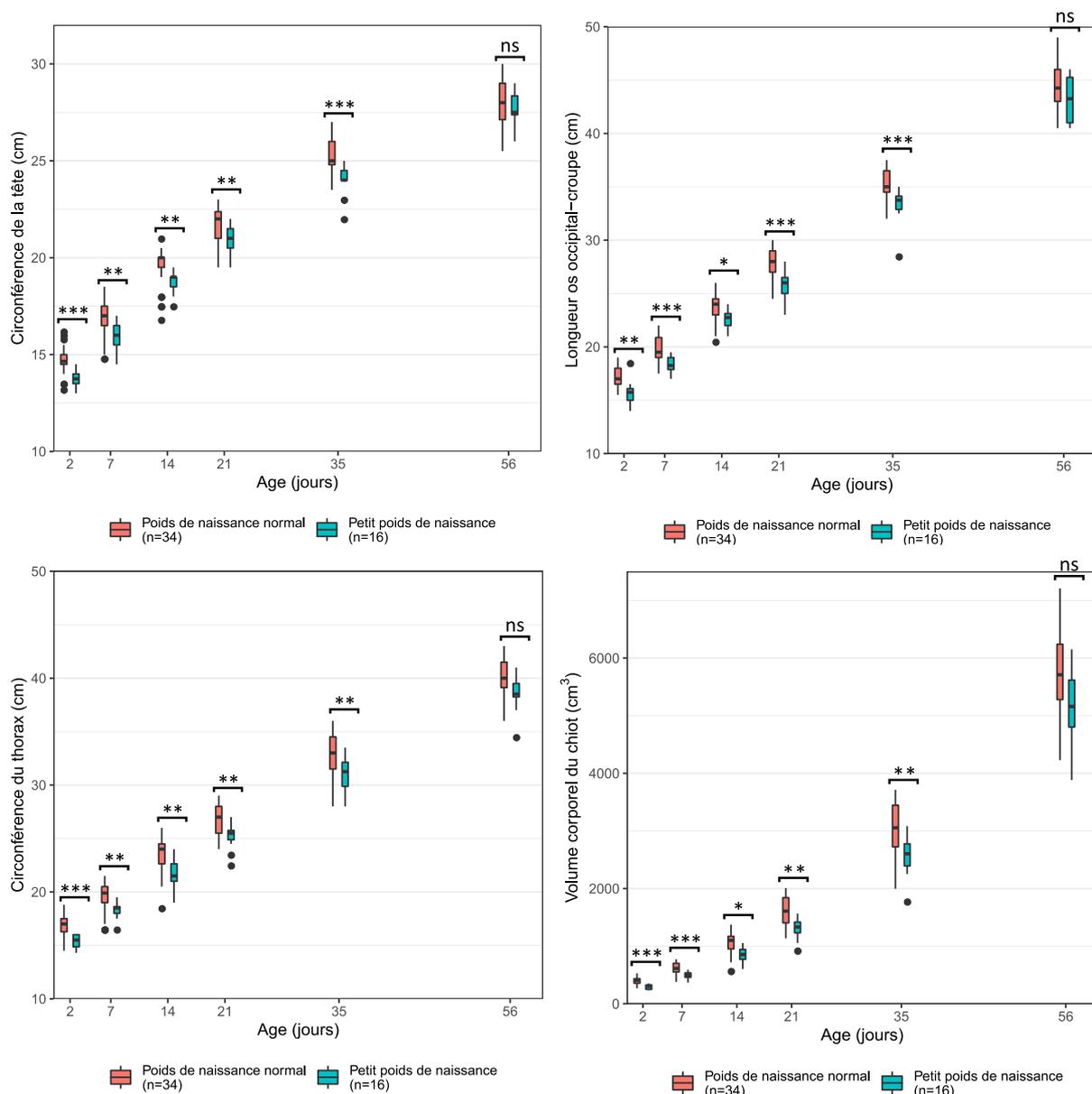


Figure 38 : Evolution comparée de la circonférence de la tête, de la longueur os occipital-croupe, de la circonférence du thorax, du volume corporel en fonction du poids de naissance (normal ou petit poids de naissance). (n=50). Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns (non significatif) représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$

❖ Ratio Circonférence de la tête/Poids

Afin de s'affranchir du potentiel différentiel de poids existant entre les PPDN et les chiots de poids de naissance normal, le ratio entre la circonférence de la tête et le poids a été étudié. Ce ratio était statistiquement plus grand pour les PPDN que pour les chiots à poids de naissance normal quel que soit l'âge jusqu'à 56 jours ( $p < 0,05$ , Figure 39). Ceci signifie que les PPDN avaient, à poids égal, une tête plus grosse que les chiots à poids de naissance normal. Pour tous les chiots, ce ratio diminuait de manière significative au cours des deux premiers mois de vie ( $p < 0,05$ , Figure 39).

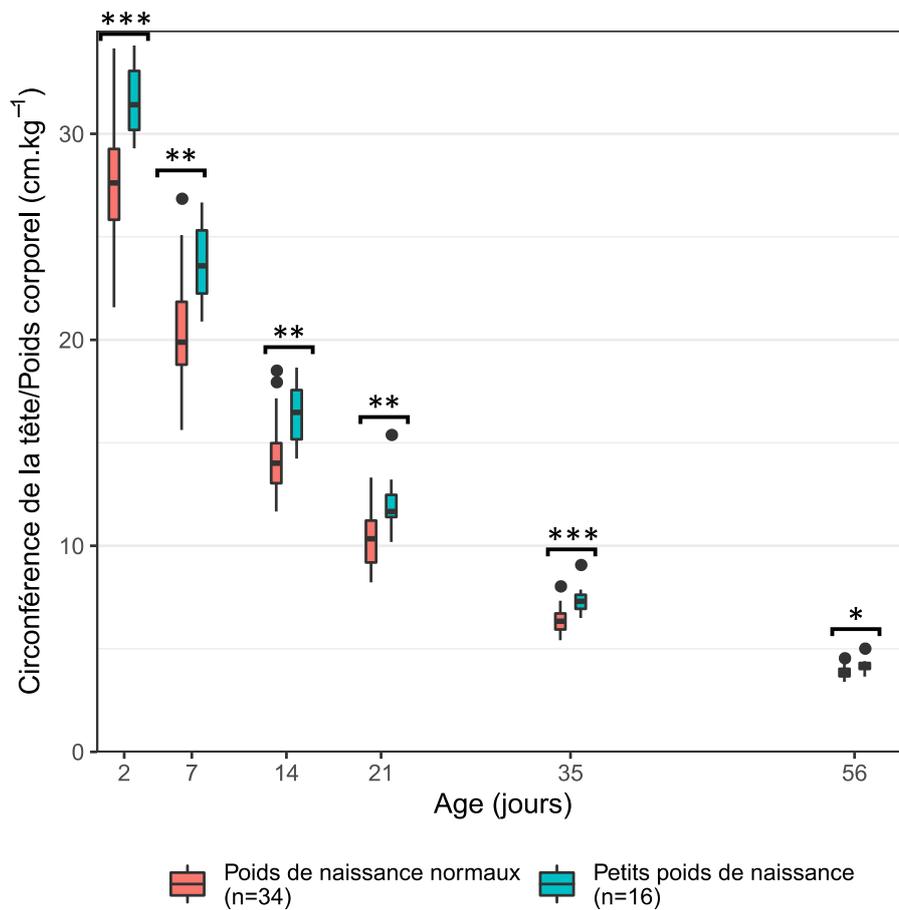


Figure 39 : Evolution comparée du ratio entre la circonférence de la tête et le poids en fonction du poids de naissance (normal ou petit poids de naissance). (n=50).

Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns (non significatif) représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$

## 2. Foie

La surface de la coupe du lobe hépatique était statistiquement plus faible chez les chiots à PPDN par rapport aux chiots de poids de naissance normal à 2 et 7 jours d'âge ( $p < 0,001$ , Figure 40). A partir de 14 jours, il n'y avait pas de différence significative de surface de la coupe du lobe hépatique selon la catégorie de poids de naissance ( $p > 0,05$ , Figure 40).

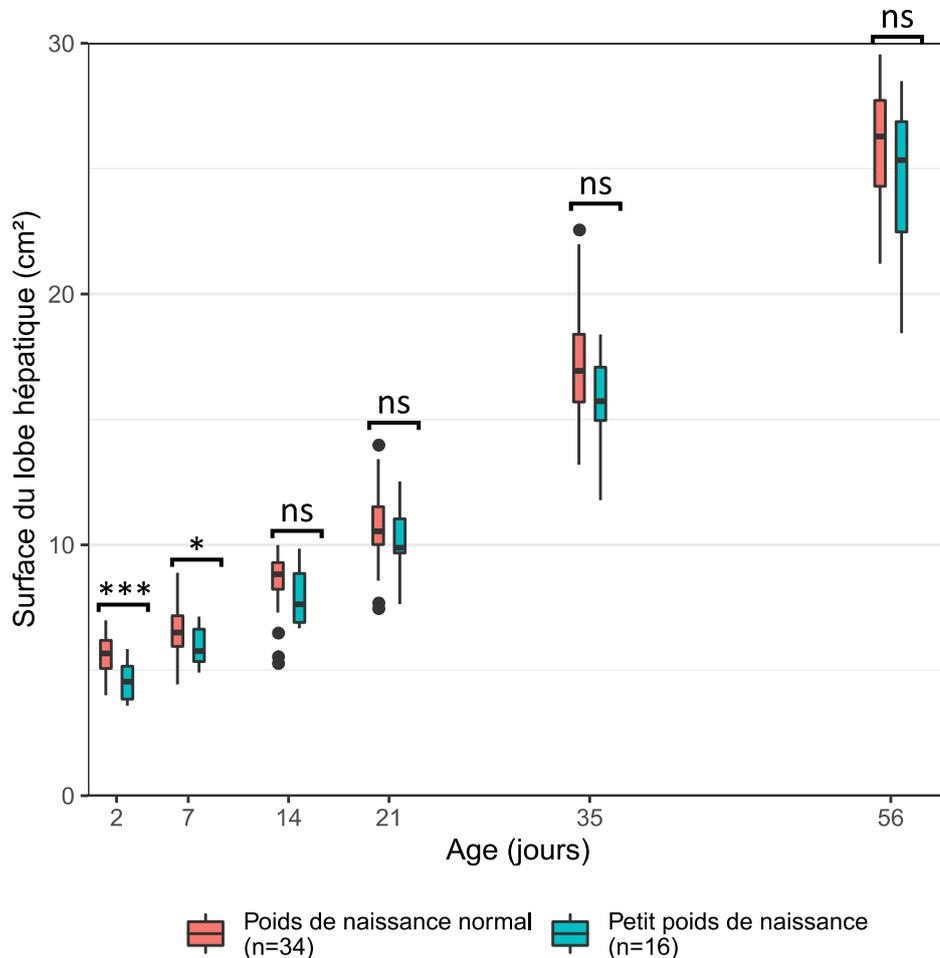


Figure 40 : Evolution comparée de la surface du lobe hépatique chez les chiots en fonction du poids de naissance (normal ou petit poids de naissance). (n=50).

Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns pour non significatif représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$ .

### ❖ [Ratio Surface de la coupe du lobe hépatique/Poids corporel](#)

Afin de s'affranchir du potentiel différentiel de poids existant entre les PPDN et les chiots de poids de naissance normal, le ratio entre la surface de la coupe du lobe hépatique et le poids a été étudié. Ce ratio était significativement plus grand chez les PPDN par rapport aux chiots de poids de naissance normal à 14, 21 et 35 jours d'âge. Par exemple à 35 jours d'âge, le ratio était de  $4,74(\pm 0,45)$  cm<sup>2</sup>/kg chez les PPDN contre  $4,27(\pm 0,66)$  cm<sup>2</sup>/kg chez les chiots de poids de naissance normal. Ceci indique que les chiots à PPDN avaient un ratio surface de la coupe de lobe hépatique/poids plus important que les chiots de poids de naissance normal pour un âge donné.

Cependant, aucune différence significative selon le poids de naissance n'a été observée à 2, 7 et 56 jours d'âge.

#### ❖ Ratio Circonférence de la tête/Surface du lobe hépatique

Dans plusieurs modèles animaux comme chez le porcelet et la souris, la relation entre le poids du cerveau et celui du foie est étudiée pour déterminer la prévalence des RCIU (Felicioni et al. 2019). N'ayant pas accès à des données nécropsiques comme le poids des organes dans cette étude, le ratio entre la circonférence de la tête et la surface de la coupe du lobe hépatique a été étudié afin d'approcher cette relation cerveau/foie. Ce ratio diminuait progressivement au cours de la croissance du chiot. Il était significativement plus grand chez les chiots à PPDN par rapport aux chiots de poids de naissance normal seulement à 2 jours d'âge ( $p < 0,001$ , Figure 41). À partir d'une semaine d'âge, le ratio n'était pas significativement différent selon la catégorie de poids de naissance ( $p > 0,05$ , Figure 41).

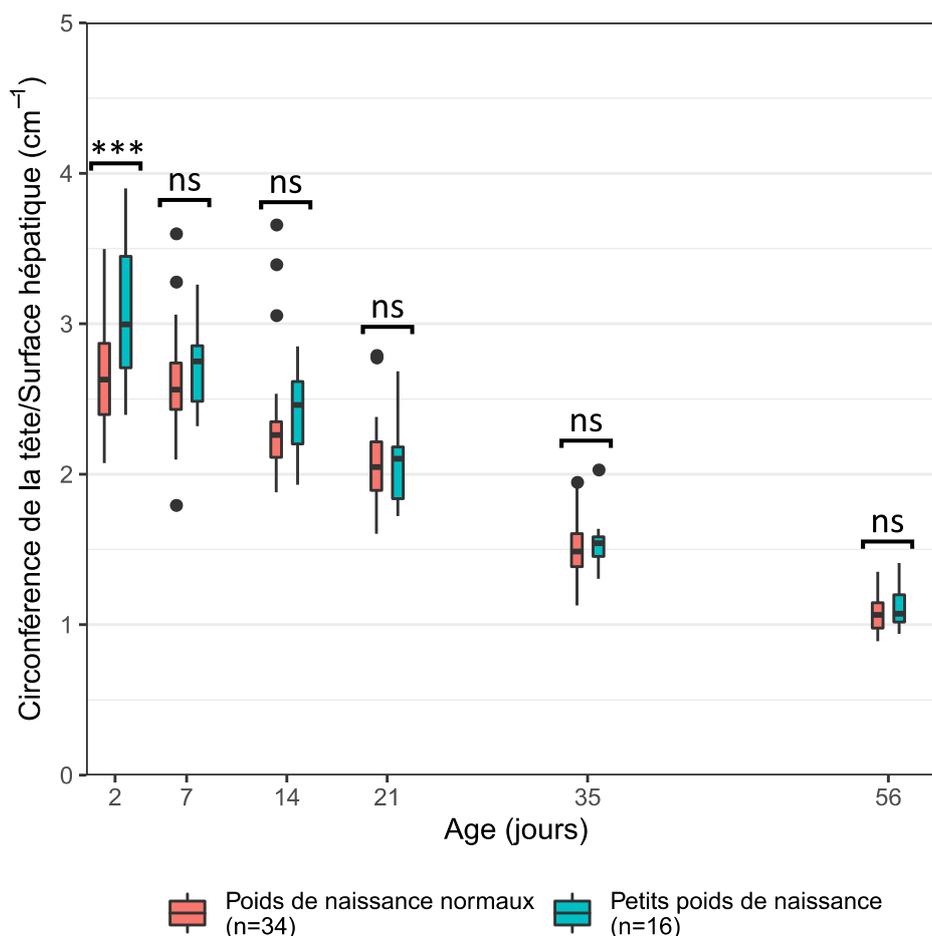


Figure 41 : Evolution comparée du ratio entre la circonférence de la tête et la surface du lobe hépatique. (n=50)

### 3. Reins

La longueur sagittale du rein gauche était significativement inférieure chez les chiots à PPDN à 2, 7 et 21 jours d'âge ( $p < 0,05$ ) tandis qu'il n'y avait pas de différence de longueur statistiquement significative entre les longueurs rénales selon la catégorie de poids de naissance à 14, 35 et 56 jours d'âge ( $p > 0,05$ ).

Les volumes rénaux (volumes du rein droit, du rein gauche et somme des deux volumes) étaient statistiquement plus faibles chez les chiots à PPDN à 2, 7, 21 et 35 jours d'âge ( $p < 0,001$ , Figure 42), tandis qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les volumes rénaux selon la catégorie de poids de naissance à 14 et 56 jours d'âge.

Pour ce qui est des ratios volume rénal total/poids et volume rénal total/volume du chiot, ils n'étaient pas significativement différents selon la catégorie de poids de naissance ( $p>0,05$ , Figure 43).

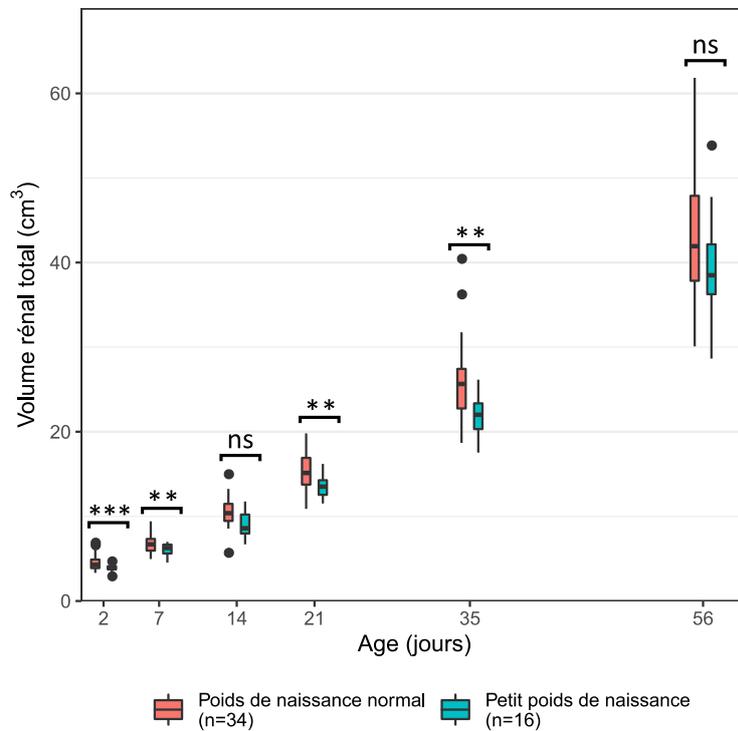


Figure 42 : Evolution du volume rénal total selon le poids de naissance. (n=50).

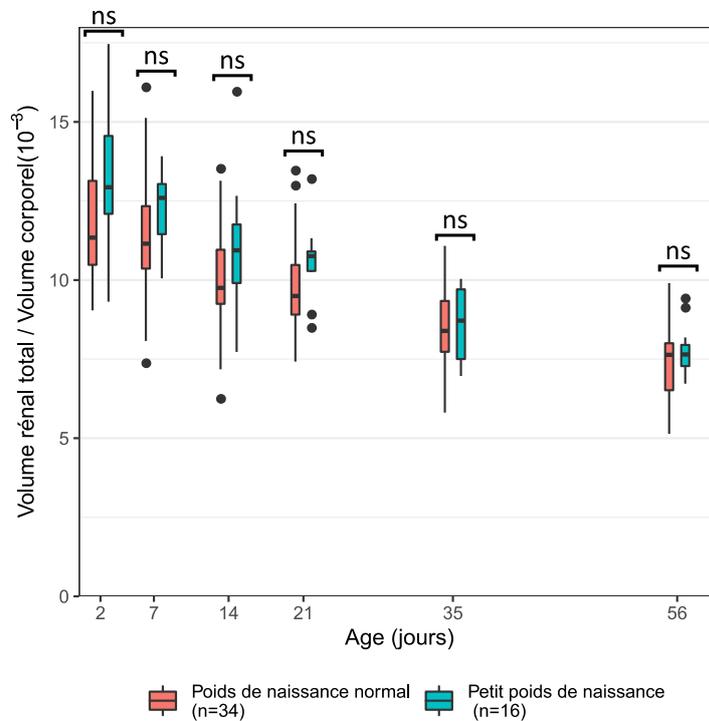


Figure 43 : Evolution comparée du ratio entre le volume rénal total et le volume corporel du chiot selon le poids de naissance. (n=50)

Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns pour non significatif représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p<0,001$  ;  $0,001<p<0,01$  ;  $0,01<p<0,05$  ;  $p>0,05$ .

#### 4. Rate

L'épaisseur de la rate n'a montré aucune différence statistiquement significative en fonction de la catégorie de poids de naissance, quel que soit l'âge ( $p > 0,05$ ).

#### H. Effet du sexe

Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été mis en place pour déterminer l'effet du sexe sur les différents paramètres morphométriques et les dimensions des organes ( $n = 27$  mâles ;  $n = 23$  femelles pour la population étudiée de 50 chiots vivants et sains à J56).

##### 1. Paramètres morphométriques

Les mâles avaient un poids, une circonférence de tête, une circonférence de thorax et une longueur os occipital-croupe significativement plus importants que les femelles à partir de 35 jours d'âge (Figure 44). Le volume corporel du chiot étant calculé à partir des paramètres morphométriques, nous observons le même phénomène : à partir de J35, les mâles avaient un volume corporel significativement supérieur à celui des femelles.

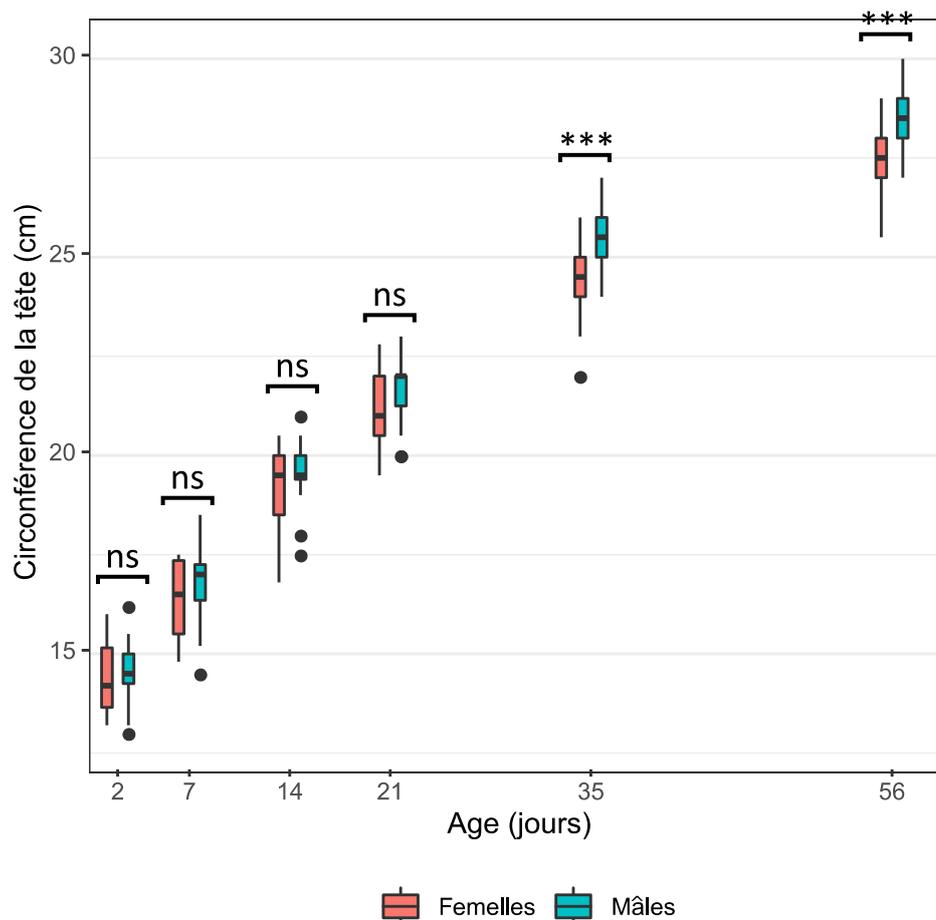


Figure 44 : Evolution comparée de la circonférence de la tête chez les mâles et les femelles. ( $n = 50$  soit 27 mâles et 23 femelles)

Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns pour non significatif représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$ .

## 2. Reins

Les volumes des reins ne diffèrent entre mâles et femelles qu'à partir de l'âge de 35 jours (à l'exception du rein gauche où une différence existe aussi à J2). À J35 et J56, les volumes rénaux des mâles sont statistiquement supérieurs à ceux des femelles (Figure 45 et 46).

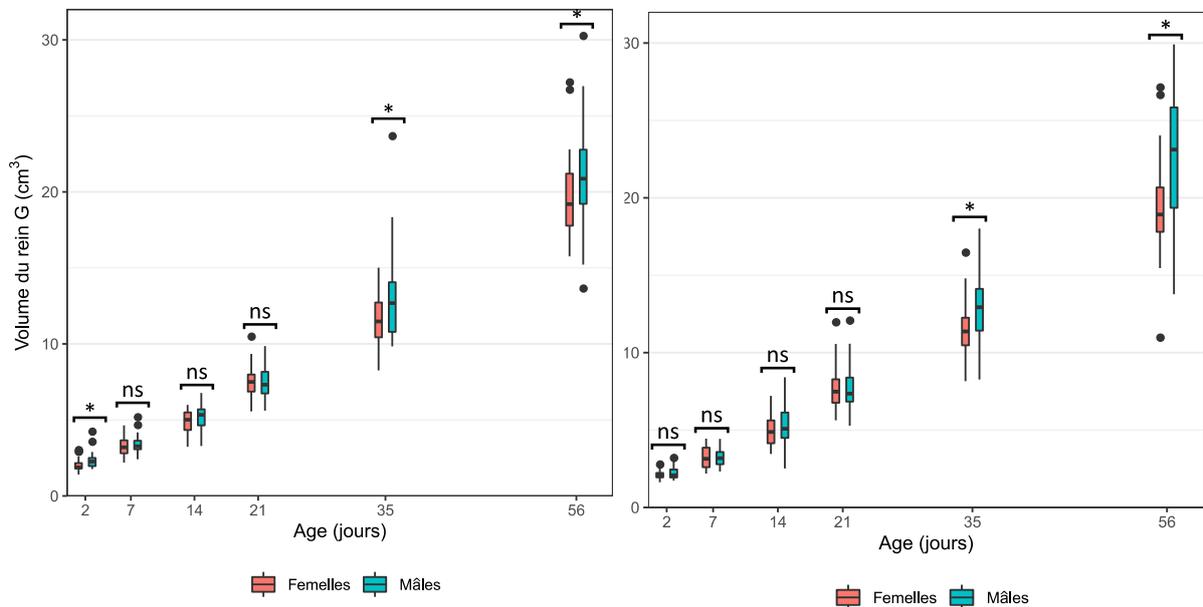


Figure 45 : Evolution comparée du volume du rein gauche (à gauche) et du volume du rein droit (à droite) chez les mâles et les femelles. (n=50 soit 27 mâles et 23 femelles)

Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns pour non significatif représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$ .

Pour la longueur du rein droit en coupe sagittale, on remarque une différence significative entre mâles et femelles à partir de J35 comme c'était le cas pour le volume de ce rein : les mâles ont un rein droit significativement plus long que les femelles à partir de 35 jours d'âge. Pour la longueur du rein gauche en coupe sagittale, on remarque une différence significative entre mâles et femelles plus précoce que pour le rein droit : à partir de 14 jours d'âge, les mâles ont un rein gauche significativement plus long que les femelles du même âge.

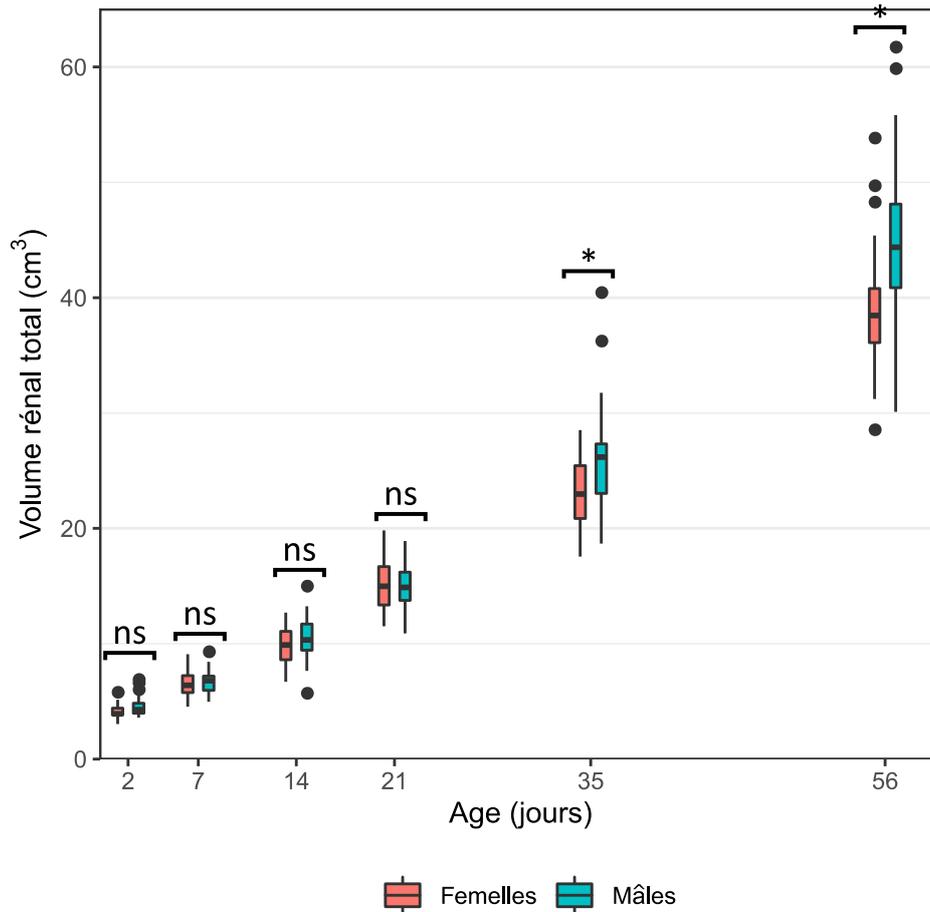


Figure 46 : Evolution comparée du volume rénal total chez les mâles et les femelles. (n=50 soit 27 mâles et 23 femelles)  
 Les symboles \*\*\*, \*\*, \*, ns pour non significatif représentent la significativité de la différence entre les deux catégories selon la p-value, respectivement,  $p < 0,001$  ;  $0,001 < p < 0,01$  ;  $0,01 < p < 0,05$  ;  $p > 0,05$ .

### 3. Effet du sexe sur les autres dimensions des organes

Aucune différence significative entre les mâles et les femelles ( $p > 0,05$ ) n'a été observée pour :

- Le foie,
- La rate,
- Le tractus intestinal,
- Les ratios entre le volume des deux reins et le poids,
- Le ratio entre la longueur du rein gauche en coupe sagittale et la longueur os occipital-croupe,
- Le ratio entre la surface moyenne de la coupe du lobe hépatique et le poids,
- Le ratio entre le volume du rein gauche et le poids,
- Le ratio entre le volume total des reins et le volume corporel du chiot.

## I. Bilan : Valeurs usuelles des dimensions des organes abdominaux

La répartition physiologique de la dimension des organes abdominaux dans une population de chiots sains en fonction du poids est représentée dans les tableaux 6 à 8. Les intervalles de poids ont été définis de manière arbitraire de telle sorte que le nombre de chiots par catégorie de poids soit homogène. Au vu de la distribution physiologique de la taille des organes, nous avons défini comme exclu les dimensions d'organes qui étaient inférieures au 5<sup>ème</sup> percentile ou supérieures au 95<sup>ème</sup> percentile.

Cependant il est important de garder à l'esprit qu'une altération de l'architecture de l'organe ou une forme anormale doit être considérée comme pathologique, même si elle n'est pas associée à une modification des dimensions de l'organe.

Tableau 6 : Valeurs usuelles pour les paramètres de morphométrie externe

Individus		Circonférence de la tête (cm)				
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	14,4	0,7	<b>13,3</b>	<b>15,7</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	16,5	0,9	<b>15,0</b>	<b>17,8</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	19,1	1,0	<b>17,5</b>	<b>20,5</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	21,4	1,0	<b>20,0</b>	<b>22,8</b>
]3-5]	47	35 j	25,1	0,9	<b>24,0</b>	<b>26,9</b>
]5-9]	50	56 j	28,1	1,1	<b>26,5</b>	<b>30,0</b>
Individus		Circonférence du thorax (cm)				
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	16,4	1,1	<b>14,5</b>	<b>18,0</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	19,1	1,3	<b>17,0</b>	<b>21,0</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	22,5	1,4	<b>20,5</b>	<b>24,5</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	26,5	1,5	<b>24,5</b>	<b>29,0</b>
]3-5]	47	35 j	32,7	1,8	<b>30,0</b>	<b>35,5</b>
]5-9]	50	56 j	39,8	1,8	<b>36,7</b>	<b>42,8</b>
Individus		Longueur os-occipital-croupe (cm)				
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	16,7	1,1	<b>15,0</b>	<b>18,5</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	19,3	1,1	<b>17,7</b>	<b>21,0</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	23,0	1,2	<b>21,0</b>	<b>24,5</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	27,2	1,9	<b>24,5</b>	<b>30,0</b>
]3-5]	47	35 j	35,0	1,3	<b>33,2</b>	<b>37,0</b>
]5-9]	50	56 j	44,1	2,2	<b>41,0</b>	<b>47,3</b>

Tableau 7 : Valeurs usuelles pour les différentes dimensions des reins

Individus			Longueur du rein gauche en coupe sagittale (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	2,52	0,16	<b>2,30</b>	<b>2,82</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	2,90	0,20	<b>2,60</b>	<b>3,18</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	3,36	0,24	<b>3,0</b>	<b>3,78</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	3,89	0,32	<b>3,36</b>	<b>4,40</b>
]3-5]	47	35 j	4,83	0,32	<b>4,48</b>	<b>5,30</b>
]5-9]	50	56 j	5,71	0,42	<b>5,10</b>	<b>6,40</b>
Individus			Volume rein gauche (cm <sup>3</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	2,17	0,49	<b>1,60</b>	<b>2,86</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	3,29	0,62	<b>2,56</b>	<b>4,41</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	4,90	0,88	<b>3,53</b>	<b>6,36</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	7,31	1,26	<b>5,49</b>	<b>9,65</b>
]3-5]	47	35 j	12,65	2,57	<b>9,85</b>	<b>17,18</b>
]5-9]	50	56 j	20,86	3,93	<b>16,00</b>	<b>27,12</b>
Individus			Longueur du rein droit en coupe sagittale (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	2,66	0,17	<b>2,39</b>	<b>2,95</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	3,08	0,19	<b>2,81</b>	<b>3,38</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	3,51	0,28	<b>3,21</b>	<b>3,99</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	4,11	0,36	<b>3,59</b>	<b>4,71</b>
]3-5]	47	35 j	5,14	0,31	<b>4,72</b>	<b>5,63</b>
]5-9]	50	56 j	6,03	0,39	<b>5,37</b>	<b>6,57</b>
Individus			Volume rein droit (cm <sup>3</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	2,17	0,36	<b>1,72</b>	<b>2,84</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	3,15	0,60	<b>2,24</b>	<b>4,11</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	4,87	1,06	<b>3,66</b>	<b>6,57</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	7,55	1,68	<b>5,42</b>	<b>10,60</b>
]3-5]	47	35 j	12,57	2,01	<b>10,08</b>	<b>16,24</b>
]5-9]	50	56 j	21,26	4,27	<b>15,73</b>	<b>28,34</b>

Tableau 8 : Valeurs usuelles pour le foie et la rate

Individus			Surface de la coupe du lobe hépatique médial gauche (cm <sup>2</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	5,27	0,79	<b>3,82</b>	<b>6,40</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	6,48	0,89	<b>5,26</b>	<b>7,96</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	8,26	1,34	<b>6,32</b>	<b>9,88</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	10,55	1,76	<b>7,89</b>	<b>13,44</b>
]3-5]	47	35 j	16,84	2,11	<b>13,50</b>	<b>19,71</b>
]5-9]	50	56 j	26,13	2,94	<b>21,89</b>	<b>30,45</b>
Individus			Epaisseur de la rate (mm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
[0,3-0,6]	48	2 et 7 j	4,2	0,6	<b>3,1</b>	<b>5,1</b>
]0,6-1]	49	2, 7 et 14 j	5,3	0,6	<b>4,5</b>	<b>6,3</b>
]1-1,5]	45	7, 14 et 21 j	6,5	0,7	<b>5,3</b>	<b>7,7</b>
]1,5-3]	61	14, 21 et 35 j	7,5	0,8	<b>6,0</b>	<b>8,6</b>
]3-5]	47	35 j	9,0	1,0	<b>7,5</b>	<b>10,7</b>
]5-9]	50	56 j	11,1	1,3	<b>9,6</b>	<b>13,3</b>

### III. Discussion

Dans la littérature, les études concernant les dimensions des reins, du foie, de la rate et de la muqueuse digestive sont très rares chez le chiot et incluent peu d'individus : 5 chiots dans l'étude d'England (1996) concernant les dimensions des reins et du foie ; 23 chiots dans l'étude de Stander et al. (2010) et 84 chiots dans l'étude de Banzato et al. (2017), concernant les dimensions du tractus digestif. Nous avons inclus 50 chiots dans notre étude, ce qui représente, à notre connaissance, le plus grand nombre de chiots inclus dans une étude de détermination des dimensions de plusieurs organes à l'échographie entre 2 jours et 2 mois d'âge.

L'échographie est un moyen simple et non invasif de visualiser et de mesurer les organes abdominaux sans aucun risque d'irradiation. Les dimensions des organes mesurés et les ratios calculés dans notre étude donnent un premier aperçu de ce qu'est un examen échographique chez le chiot sain avant son adoption. En effet, ces mesures constituent une base qui permet de différencier le « normal » du « pathologique » sur les images échographiques de façon à permettre de diagnostiquer de manière précoce certaines affections du chiot avant sevrage, notamment les anomalies congénitales. Nous avons réalisé des tableaux récapitulatifs des valeurs usuelles de la dimension des organes. Nous tenons à souligner le fait que les valeurs usuelles peuvent se rapprocher des « intervalles de référence » de la littérature, mais que les conditions d'établissement de ces derniers sont beaucoup plus contraignantes. En effet, un intervalle de référence est normalement défini sur 100 animaux, vivant dans 100 élevages différents, sans aucune relation génétique entre les animaux, ce qui n'est pas le cas ici.

#### A. Matériels et méthodes

##### 1. Animaux sélectionnés

###### a) Facteurs de variation liés à l'animal

Les manipulations ont été réalisées sur 50 chiots sains, de même race et provenant d'un même élevage, ce qui a permis d'éliminer plusieurs facteurs de variation (liés par exemple à la conduite d'élevage et à la race). En effet, comme dans les autres espèces d'élevage, de nombreux facteurs – génétiques, environnementaux, endocriniens, nutritionnels, etc - contribuent au développement et à la croissance normale du chiot (Peterson et Kutzler 2010). Le fond génétique, notamment, différent d'une race à l'autre et tout ce qui concerne la conduite d'élevage (alimentation, protocoles vaccinaux, environnement ...), sont des facteurs figés ici, qui ont potentiellement une influence sur les résultats obtenus. Ainsi, il est difficile de généraliser les observations de cette étude à un autre élevage de même race. La réalisation du protocole dans un seul élevage a également pour conséquence que les résultats obtenus ne peuvent pas non plus être généralisés à l'ensemble de la race Berger de Beauce.

Par ailleurs, les manipulations ont été réalisées sur une seule race, ce qui permet d'éliminer certains facteurs de variation comme dit précédemment, mais entraîne une limite non négligeable : les résultats ne sont applicables qu'à une très faible partie de l'espèce canine. Il est en effet difficile de faire des généralisations concernant la croissance normale d'un chiot étant donné la grande variabilité morphologique existant au sein de l'espèce canine (Peterson et Kutzler 2010 ; Cradic et al. 2019).

Le chien est en effet l'espèce de mammifère terrestre présentant le plus de variabilité de stature et de morphologie. Ceci rend l'établissement de valeurs usuelles pour cette espèce particulièrement difficile.

Même si leur extrapolation est donc sujette à caution, ces résultats représentent déjà une première ébauche pour donner des tendances de croissance des organes abdominaux chez le chiot sain, ainsi que de leur aspect échographique normal. De plus, comme premier niveau d'extrapolation, bien que ces résultats ne soient pas généralisables à toute l'espèce canine, il pourrait être intéressant de déterminer si ces résultats donnent également une idée de la dimension et de l'aspect normal des organes à l'échographie chez tous les chiens de type médioligne, ayant un format et un poids adulte estimé similaires à ceux du Berger de Beauce.

#### b) Mortalité et affections

Dans notre étude, le taux de mortalité était de 15,9% (mortalité + mortalité 0-2mois), ce qui est un peu plus élevé que ce qu'on trouve dans la littérature. En effet, une étude réalisée en France, comptant 200 000 chiots, a calculé un taux de mortalité durant les 2 premiers mois de vie dans l'espèce canine de 13,4% (Chastant-Maillard et al. 2017).

De plus, tous les chiots ayant présenté des anomalies à l'examen clinique et/ou échographique ont également été exclus de l'étude pour correspondre le plus précisément possible à notre objectif premier qui était de définir la trajectoire de croissance du chiot sain de race Berger de Beauce. Il aurait été néanmoins intéressant d'étudier si les chiots présentant une affection caractérisée à l'examen clinique et/ou l'échographie présentaient une modification de l'allométrie de la croissance par rapport aux chiots sains. Ceci n'a pas pu être réalisé car le nombre de chiots présentant une affection était trop faible.

## 2. Images et mesures réalisées

### ❖ Surface de la coupe du lobe hépatique

Le foie est un organe ayant une forme complexe, qui varie beaucoup d'un chiot à l'autre pour un âge donné. La dispersion importante des valeurs obtenues pour la surface de la coupe du lobe hépatique pour un âge donné (Figure 24) confirme cette variabilité importante. Cependant malgré cette grande dispersion, il est tout de même important d'avoir les valeurs usuelles d'un foie normal chez le chiot.

Plusieurs autres études présentent l'évolution du foie en fonction de l'âge chez le chiot et l'enfant (Barr 1992 ; England 1996 ; Soyupak et al. 2002), mais dans toutes ces études, le foie a été caractérisé via des mesures linéaires simples, le plus souvent en mesurant la distance entre le bord le plus caudal du foie et le diaphragme (distance antéro-postérieure) en plaçant la sonde sur le plan sagittal moyen (Barr 1992 ; England 1996). Dans notre étude, nous avons choisi de caractériser le foie via la mesure de la surface de la coupe du lobe médial gauche en nous positionnant médialement au plan sagittal moyen. En effet, l'absence de repère fixe assurant une répétabilité des mesures sur tous les chiots et à tous les âges nous a conforté dans le fait de mesurer une surface plutôt qu'une distance qui apparaissait être une mesure plus variable. La mesure de la surface de la coupe était réalisée lorsque le lobe était intégralement visible, ce qui permettait de mesurer la surface entière de la coupe et ainsi de limiter les approximations (Figure 2). Cela permettait également de standardiser la localisation anatomique quel que soit le chiot et l'âge. Les coefficients de corrélation linéaire élevés obtenus entre la surface de la coupe du lobe hépatique et les différents paramètres de morphométrie externe mesurés suggèrent que cette méthode est une approche fiable (Tableau 3).

Cependant, cette méthode de mesure ne peut s'appliquer que sur des chiens de petit gabarit ou des chiots car le lobe médial gauche devient ensuite trop grand pour apparaître en entier sur l'écran de l'échographe.

L'autre intérêt de cette mesure de surface est qu'elle procure un indicateur quantitatif rapide et simple à acquérir pour caractériser le foie chez le chiot et permettre de détecter de manière précoce des anomalies hépatiques. Par exemple, la présence d'un foie de petite taille, associé à des reins de taille anormalement élevée peut alerter sur la présence d'un shunt porto-systémique (Ettinger et al. 2017).

Les limites de cette méthode de caractérisation du foie sont similaires à celles rencontrées avec les mesures linéaires. Il était parfois difficile d'identifier le bord caudal du foie dans le plan sagittal à cause de la proximité de l'arc costal, des autres lobes hépatiques adjacents et de la forme variable de l'estomac selon son état de réplétion. De plus, il était souvent compliqué de prendre le cliché échographique au même moment du cycle respiratoire chez tous les chiots à cause des mouvements de respiration très rapides chez certains chiots du fait du stress et des mouvements abdominaux intenses lorsque les chiots vocalisaient (fréquent chez les chiots à 2 et 7 jours d'âge). On a également observé que la réplétion de l'estomac était un facteur important de variation de la surface de la coupe du lobe hépatique. En effet, lorsque l'estomac était très dilaté par le contenu alimentaire, le foie était de surface inférieure.

Pour pallier ces variations, 3 images, et donc 3 mesures différentes de surface de la coupe, ont été réalisées sur le foie de chaque chiot à chaque examen échographique.

#### ❖ Reins

Il est possible que la longueur des reins en coupe sagittale ait été sous-estimée dans l'étude, comme cela a pu déjà être montré précédemment (Barr 1990 ; England 1996). En effet, pour certains chiots, les marges étaient imprécises surtout pour le rein droit du fait de son aspect isoéchogène par rapport au parenchyme hépatique. De plus, il était parfois difficile d'avoir une image de la dimension maximale du rein, expliquant, dans quelques cas, cette sous-estimation de l'ordre d'environ 5%.

Pour ce qui est de la hauteur rénale en coupe sagittale et en coupe transversale, il est possible qu'elle ait été également sous-estimée du fait de la pression exercée par la sonde échographique, nécessaire parfois pour visualiser l'organe. Cette pression entraînait parfois un écrasement de l'organe et donc une sous-estimation de la hauteur à l'échographie.

L'évaluation du volume rénal dans notre étude était basée sur une formule développée dans une étude antérieure à partir de 34 reins humains (Hricak et Lieto 1983). Cette formule repose sur l'approximation du rein à une forme d'ellipse. Après néphrectomie, les volumes déterminés par l'échographie avaient été comparés aux volumes rénaux réels, déterminés par déplacement d'eau : le calcul donnait une bonne estimation de la valeur du volume rénal réel. (Hricak et Lieto 1983 ; Han et Babcock 1985).

#### ❖ Rate

Les dimensions spléniques étaient plus faiblement corrélées aux paramètres morphométriques que celles des deux autres organes étudiés (Tableau 3). Par ailleurs, on a constaté une grande dispersion des valeurs mesurées d'épaisseur de rate pour un âge donné (Figure 33), ce qui reflète soit la variabilité de la mesure, soit une grande différence inter-individuelle entre chiots de même âge. Le plus probable est que les mesures spléniques étaient moins précises que pour les autres paramètres mesurés, du fait notamment de la difficulté à localiser précisément le hile splénique le plus caudal (existence de plusieurs hiles spléniques).

### 3. Innocuité de l'examen échographique : suivi de température

Grâce au suivi de température rectale effectué sur les chiots âgés de deux jours, nous avons observé que 53% des chiots présentaient une température rectale inférieure à 35,5°C après l'examen échographique et 44% des chiots ont perdu plus de 1,8 °C pendant l'examen échographique et ce, malgré les mesures de réchauffement mises en place (tapis chauffant, chauffage). Il est donc important de prendre conscience qu'à cet âge-là, un examen échographique n'est pas un acte anodin et qu'il est important de vérifier la température rectale du chiot jusqu'à ce que celle-ci soit normalisée.

Chez le chiot, le risque d'hypothermie est majoré du fait de leur ratio surface sur volume élevé, de la faible proportion de tissu adipeux, de l'inefficacité du contrôle vasomoteur et de leur incapacité à frissonner (Groppetti et al, 2015). Le réflexe de frisson n'est acquis qu'à 6 jours d'âge et jusque-là, la thermogenèse repose sur l'utilisation de la graisse dite « brune » : la chaleur est produite par lipolyse des adipocytes (Catteau 2014). La baisse de la température rectale dépendait également de la durée de l'examen échographique. En effet, l'échographie était plus rapide à la fin des manipulations par rapport au début (expérience des manipulateurs) et la durée était très variable d'un chiot à l'autre (coopération des chiots, facilité de visualisation des organes). Ainsi, un manipulateur expérimenté devrait probablement observer des baisses de température rectale moins importantes que ce qui a été observé ici. Néanmoins dès sept jours, aucun chiot ne passait en dessous de 35,5°C de température rectale à la fin de l'examen. A partir de sept jours d'âge, le risque d'hypothermie des chiots était déjà largement diminué.

### 4. Traitement des données

L'analyse de la corrélation entre les mesures morphométriques et les mesures échographiques a été réalisée via une analyse de corrélation de Pearson selon la même méthode que celle utilisée dans des publications antérieures (Pugliese et al. 2016 ; Banzato et al. 2017). Cependant, la méthode statistique utilisée peut être soumise à des réserves. En effet, dans notre étude, comme dans les études citées plus haut, le calcul des coefficients de corrélation a été réalisé sur des données non indépendantes puisqu'il s'agit d'un suivi de chiots. Il en découle que les données récoltées à 2, 7, 14, 21, 35 et 56 jours sont toujours issues des mêmes chiots. De plus, l'âge agit comme un facteur de confusion important. Il aurait été intéressant de faire la même évaluation sur des individus indépendants, c'est-à-dire des chiots différents de 2, 7, 14, 21, 35 et 56 jours d'âge pour avoir des données totalement indépendantes et pouvoir ainsi évaluer si la forte corrélation entre les mesures morphométriques et les mesures échographiques des organes se vérifie encore. Cependant, lorsque l'on regarde l'allure des nuages de points associés au calcul des coefficients de corrélation, il est possible d'interpréter ces coefficients (Annexe 8).

On peut également se poser la question de qui, de la morphométrie externe ou de l'âge est le plus déterminant dans la dimension des organes. Par exemple, un chiot qui aurait eu un retard de croissance considérable conduisant à des paramètres morphométriques très inférieurs à ceux attendus pour son âge, aurait-il alors des organes de la taille attendue selon son âge ou de taille correspondant à ses caractéristiques morphométriques (Barr 1990) ?

## B. Résultats

### 1. Paramètres qualitatifs

L'architecture de la rate et des nœuds lymphatiques n'est pas complètement développée chez le fœtus, des centres germinatifs lymphoïdes et des follicules B manquent et finissent de se former peu de temps après la naissance. À la naissance, le chiot a déjà des nœuds lymphatiques reconnaissables, organisés en réseau, de faible densité en lymphocytes et présentant une organisation cortico-médullaire (Peterson et Kutzler 2010). Les chiots sont capables de produire des anticorps spécifiques en moins de 2 semaines. Une seconde réponse immunitaire intervient vers 40 jours de vie. Cette mise en place progressive du système immunitaire du chiot permet de comprendre certaines découvertes échographiques de l'étude à propos des nœuds lymphatiques abdominaux de taille importante et de la rate prenant un aspect léopardé à partir d'un mois d'âge.

#### a) Nœuds lymphatiques jéjunaux

Dans notre étude, nous avons observé la présence de nœuds lymphatiques (NL) abdominaux particulièrement développés, et donc très facilement visibles à partir de 35 jours d'âge. Dans la majorité des cas, les NL échographiés étaient les NL jéjunaux. Il s'agit en effet des NL les plus couramment observés en échographie avec un taux de visualisation de 94,8% d'après Agthe et al (2009) chez le chien. Ils appartiennent au lymphocentre mésentérique crânial et sont les plus gros NL des viscères abdominaux (Pugh 1994). Ils drainent la lymphe du jéjunum, de l'iléon et du pancréas.

#### ❖ Echogénicité

Dans notre étude, l'échogénicité des NL était similaire à celle rapportée dans des études précédentes menées chez le chien adulte (Agthe et al. 2009) et chez le chiot (Stander et al. 2010b ; Krol et O'Brien 2012 ; Pugliese et al. 2016). En effet, les NL observés apparaissaient majoritairement hypoéchogènes par rapport au mésentère environnant mais jamais hyperéchogènes (Figure 20).

L'échogénicité des NL observés dans notre étude était hétérogène. Agthe et al (2009) ont échographié les nœuds lymphatiques mésentériques de 57 chiens sains, âgés de 6 mois à 14 ans. Pour les chiens de moins de 6 ans, les nœuds lymphatiques n'étaient pas uniformes, différentes échostructures étaient observées. En effet, une bordure hypoéchogène à la périphérie du nœud lymphatique était observée principalement. Une échostructure semblable avec un fin rebord hypoéchogène entourant un centre plus échogène a également été détectée sur la majorité des NL observés dans notre étude.

Pourtant une apparence hétérogène du parenchyme des NL n'a été que rarement rapportée dans la littérature chez le chien sain. En effet, cela a été uniquement décrit sur les NL superficiels chez le chien adulte (Nyland et Mattoon 2002) et sur les NL abdominaux réactionnels ou tumoraux (van Delden et al. 1998). Cette échostructure correspondrait à la corticale du NL (liseré hypoéchogène) qui entoure la zone médullaire et le hile (partie centrale, plus échogène)(Nyland et Mattoon 2002). Cette structure cortico-médullaire a été observée seulement chez les chiens de moins de 6 ans dans l'étude d'Agthe et al (2009) et chez la majorité des chiots de plus de plus de 35 jours dans notre étude. On peut émettre l'hypothèse que cette structure est due à une activité immunologique importante induisant la présence d'un cortex immunologiquement actif (Rogers et al. 1993). En effet, le tractus digestif des jeunes animaux est continuellement exposé à de nouveaux antigènes, ainsi une réponse des NL peut être considérée comme physiologique.

## ❖ Taille

En pédiatrie canine, les NL jéjunaux peuvent avoir une taille importante sans être nécessairement anormaux (Baker et Davidson 2006). Une épaisseur plus importante des NL jéjunaux a également été rapportée chez le jeune chien (Agthe et al. 2009). En effet, dans cette étude portant sur les 57 chiens âgés de 6 mois à 14 ans, la taille des NL jéjunaux était inversement proportionnelle à l'âge, de façon significative c'est-à-dire qu'il y avait une corrélation significative entre le diamètre important des nœuds lymphatiques et le jeune âge de l'animal. Il est donc cohérent que nous ayons trouvé des NL particulièrement bien visibles et de grande taille (certains dépassaient 1cm d'épaisseur) chez les chiots.

Cependant, il est à noter que, dans notre étude, la taille des nœuds lymphatiques abdominaux n'a pas été mesurée systématiquement. Dans la mesure où ils étaient systématiquement visualisables à partir de 35 jours d'âge, il aurait été intéressant de s'intéresser à la taille de ces NL et d'intégrer cette mesure dans notre protocole. L'épaisseur des NL semble moins variable que leur largeur et serait donc la mesure à utiliser (Agthe et al. 2009).

Les NL jéjunaux ont été évalués chez 23 chiots Beagle âgés de 7 à 12 semaines (Stander et al. 2010b). Chez tous les chiots, les NL étaient facilement visualisables et avaient une épaisseur moyenne de 7,1 ( $\pm 2,2$ ) mm (épaisseur variant de 1,5 à 12,5mm). Ces mesures sont supérieures à celles rapportées par Agthe et al (2009), étude dans laquelle l'épaisseur moyenne des NL jéjunaux était de 3,9 mm (épaisseur variant de 1,6 à 8,2 mm). Ceci est sûrement dû au fait que les chiens inclus dans l'étude de 2009 étaient en grande majorité des chiens adultes tandis que dans l'étude de 2010, il s'agissait exclusivement de chiots de moins de 12 semaines. Dans tous les cas, ces deux études montrent que les NL jéjunaux chez le chien sain peuvent excéder la limite d'épaisseur précédemment établie à 5-6mm par Nyland et Mattoon (2002).

Ceci corrobore le fait que chez le chiot et le jeune chien, une adénomégalie mésentérique peut être courante et pas nécessairement anormale. Cette adénomégalie chez le chiot peut être attribuée à une activité immunologique plus importante (Agthe et al. 2009). En effet, le tractus gastro-intestinal est constamment exposé à de nouveaux antigènes et les chiots sont soumis à une pression d'infection au niveau du tractus digestif de plus en plus forte au fur et à mesure qu'ils grandissent (Grellet et al. 2014), ce qui expliquerait une réaction du système immunitaire. Une étude menée sur les entéropathogènes des chiots vivant en collectivités (refuge ou élevage) a montré que 77% des chiots étaient infectés par au moins un entéropathogène et 55% des chiots étaient porteurs de plusieurs pathogènes différents (Grellet et al. 2014). De plus, une plus forte prévalence des virus entéropathogènes a été décrite chez les jeunes de moins de 6 mois par rapport aux chiens adultes (Grellet et al. 2014). Pourtant, malgré la virulence des pathogènes, le manque de signes cliniques systémiques sur ces chiots infectés peut être lié à un système immunitaire efficace ou à l'immunité intestinale locale (Rice et al. 1982). Les chiots reçoivent donc de nombreux stimuli antigéniques très tôt dans leur vie et l'hypertrophie des NL fait partie des réponses immunitaires attendues, surtout pour les NL proches des entrées d'antigènes comme les NL mésentériques (Hoskins 1995).

Nous avons également émis l'hypothèse que la taille importante des NL pouvait être liée à la réponse vaccinale puisque les chiots sont vaccinés à partir de 5 semaines, âge à partir duquel les nœuds lymphatiques ont commencé à être visualisés systématiquement. En effet, l'adénomégalie est souvent observée à la suite d'une vaccination (Hoskins 1995).

## b) Rate

La rate est un des organes hématopoïétiques majeurs lors du développement fœtal et cette activité diminue rapidement après la naissance (Hoskins 1995). Elle est le tissu lymphoïde le plus massif du corps et l'une de ses fonctions est la réponse immunitaire. L'augmentation en nombre et en taille des follicules lymphoïdes, lors de la stimulation immunitaire des nouveau-nés, permet de produire des anticorps et des lymphocytes T, au niveau de la pulpe blanche (Hoskins 1995). Ceci peut permettre d'expliquer l'aspect léopardé de la rate des chiots observé à partir de 35 jours d'âge (Figure 18).

## c) Tractus intestinal

A un mois d'âge, nous avons remarqué que la paroi de l'intestin grêle présentait une structure en couches visibles à l'échographie chez tous les chiots (Figure 19). L'aspect échographique de la paroi digestive en couches (muqueuse, sous-muqueuse, musculuse et séreuse) était similaire à celle de l'adulte (Penninck 2002).

L'utilisation de l'échographie pour évaluer l'aspect du tractus intestinal est une partie importante d'un examen échographique abdominal. En effet, elle permet de détecter certaines maladies inflammatoires intestinales, ainsi que des processus néoplasiques. Par exemple, la parvovirose canine est une maladie, présentant une prévalence importante en France et qui touche majoritairement les chiots. Sans traitement, la mortalité peut atteindre 91%. Chez les chiots, les tissus les plus communément touchés sont l'épithélium intestinal et les organes lymphoïdes (Prittie 2004).

Une étude de 2010 rapporte les modifications échographiques observées sur 40 chiots de 6 à 24 semaines, atteints de parvovirose (Stander et al. 2010a). Les principales modifications indicatrices étaient : une dilatation liquidienne des anses, une atonie intestinale, une perte de la structure en couches distinctes, des irrégularités au niveau de l'interface entre la lumière intestinale et la muqueuse de la paroi, un aspect crénelé ou moucheté sous forme de taches hyperéchogènes dans la muqueuse du duodénum et du jéjunum et enfin un amincissement des muqueuses jéjunale et duodénale sans modification de l'épaisseur totale de la paroi digestive. D'après cette étude, bien que ces modifications soient en faveur d'une atteinte par la parvovirose canine, elles n'en sont pas pathognomoniques. En effet, ces modifications peuvent intervenir dans d'autres types d'entérite (voire dans des cas de processus néoplasique, de pancréatite ou de péritonite). L'échographie ne permet pas de faire un diagnostic de la parvovirose. Cependant la gravité et l'intensité des changements échographiques observés sont corrélées avec l'expression clinique. Un suivi échographique d'un chiot atteint de parvovirose serait donc intéressant comme moyen de suivi pour évaluer la progression de la maladie et affiner le pronostic.

## d) Epanchement péritonéal

Lors de la réalisation de nos travaux, nous avons remarqué la présence d'épanchement péritonéal chez 60% des chiots à 2 jours d'âge. Cette proportion diminuait au cours de la croissance du chiot : à deux mois, un peu moins d'un quart des chiots (24%) présentaient de l'épanchement péritonéal (Figure 14).

L'échographie est une méthode permettant de détecter la présence d'épanchement péritonéal, même pour des quantités infimes de 1-2mL/kg chez le chien (Stander et al. 2010b).

Dans notre étude, l'épanchement n'était pas évalué quantitativement mais a juste fait l'objet d'une évaluation qualitative (présence d'épanchement : oui/non). Cependant on peut estimer que lorsque l'épanchement était présent sous la forme d'un triangle anéchogène de moins d'1 cm de côté (ce qui était toujours le cas quand l'épanchement était péri vésical), il s'agit d'une quantité faible d'épanchement. Chez le chien adulte, la détection d'épanchement péritonéal est généralement synonyme d'une affection sous-jacente tandis que chez le chiot, celle-ci peut être considérée comme physiologique quand l'épanchement est présent en quantité faible (Stander et al. 2010b). En effet, parmi les 23 chiots Beagle, âgés de 7 à 12 semaines, examinés par Stander et al (2010b) tous les chiots présentaient une faible quantité d'épanchement péritonéal à l'échographie. Comme dans notre étude, l'épanchement était également caractérisé dans la plupart des cas par un triangle anéchogène situé crânialement à l'apex de la vessie ou entre les anses digestives de l'abdomen caudal (Figure 12).

Cependant dans notre étude, quelques autres localisations d'épanchement, telles qu'en région dorsale à la rate, en région rétropéritonéale ou entre les lobes hépatiques, ont été observées et elles étaient la plupart du temps associées à une quantité plus importante de fluide. On peut ainsi émettre l'hypothèse que la présence d'une quantité faible de fluide entre les anses ou autour de la vessie peut être considérée comme normale chez le chiot âgé de moins de deux mois tandis que les autres localisations de fluide et/ou une quantité importante doit faire suspecter une affection sous-jacente et déboucher sur une exploration plus approfondie.

Dans l'étude portant sur les 23 chiots Beagle précédemment citée, la nature de l'épanchement péritonéal n'a pas été déterminée du fait de l'impossibilité de réaliser des abdominocentèses. Mais il a été présumé comme étant un épanchement de type transsudat pur en se basant sur l'aspect échographique de basse cellularité (Stander et al. 2010b).

#### e) Echogénicité relative

##### ❖ Echogénicité du rein gauche par rapport à la rate

#### **Pendant les deux premières semaines de vie**

Nous avons pu observer dans notre étude que le rein a la même échostructure chez le chiot que chez l'adulte, avec une organisation bien définie en cortex externe, médulla interne et bassinnet central.

En effet, les reins des fœtus peuvent être visualisés à l'échographie à partir de 40-60 jours de gestation (Gil et al. 2018). Au début, on distingue le cortex rénal épais et hyperéchogène, sans différenciation cortico-médullaire. Le bassinnet est dilaté, anéchogène. Puis le cortex rénal s'amincit en devenant hypoéchogène, la différenciation cortico-médullaire se met en place et le bassinnet est très légèrement dilaté. Juste avant la mise-bas, le rein ressemble en apparence à celui d'un chien adulte : le cortex est fin, isoéchogène par rapport au parenchyme hépatique, la différenciation cortico-médullaire est complète, il n'y a plus de dilatation pyélique (Gil et al. 2018).

Comme on peut le voir sur la Figure 10, à 2 et 7 jours d'âge, nous avons observé une différenciation du cortex rénal en deux couches. Cette différenciation n'est plus visible à partir de J14. De plus, tous les chiots de l'étude ont, à l'âge de 2 jours, un rein gauche isoéchogène par rapport au parenchyme splénique. A partir de J7, l'échogénicité du cortex rénal diminue : il devient peu à peu hypoéchogène. A J56, 96% des chiots ont un cortex de rein gauche hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique. Ces deux observations s'expliquent par une différence de constitution du cortex au début de la vie du chiot.

Chez le chien, à la naissance, le rein est morphologiquement et fonctionnellement immature et la néphrogenèse continue pendant les deux premières semaines de vie (England 1996). Fonctionnellement, le rein du chiot nouveau-né est caractérisé par un taux de filtration glomérulaire, un flux plasmatique rénal et une fraction de filtration faibles en comparaison au rein adulte. La différence d'échogénicité du cortex rénal pendant les deux premières semaines de vie, avec un cortex rénal isoéchogène par rapport au parenchyme splénique chez 100% des chiots à J2 et 74% des chiots à J7 respectivement, s'explique donc par l'achèvement de la néphrogenèse. Cette apparence échographique du cortex a été constaté par plusieurs auteurs (Evan et Hay 1981 ; Hricak et al. 1983 ; England 1996). Durant la première semaine de vie, le cortex rénal est hyperéchogène par rapport aux tissus environnants et par rapport au cortex rénal de chiots plus âgés, la différenciation corticomédullaire est donc accrue chez le jeune. Cette différence d'échogénicité peut s'expliquer par une pression artérielle et une perfusion des glomérules plus faibles chez le chiot, qui se traduit par une échogénicité plus importante (England 1996). Le cortex rénal de chiots Beagle âgés de 2j est constitué de larges vaisseaux capillaires sinusoïdes à paroi épaisse, ce qui peut expliquer un cortex rénal plus échogène que les tissus environnants (Evan et Hay 1981). Chez les humains, l'augmentation d'échogénicité du cortex rénal du nouveau-né a été attribuée à une augmentation en nombre et en proportion des glomérules, des anses de Henlé et des cellules glomérulaires au sein du cortex, qui sont d'échogénicité tissulaire (Hricak et al. 1983).

La notion de différenciation du cortex rénal en deux couches a également été citée par plusieurs auteurs (Hay et Evan 1979 ; Evan et Hay 1981 ; England 1996). En effet, il existe une distribution centrifuge de la maturation des néphrons : les plus vieux et plus matures sont situés à proximité de la zone juxtaglomérulaire, tandis que de nouveaux néphrons continuent à se former continuellement pendant les deux premières semaines de vie dans la région sous-capsulaire (England 1996). L'histologie montre que la périphérie du cortex rénal est constituée de petits glomérules immatures, tandis que la partie du cortex rénal plus « interne », adjacente à la médulla, est constituée de glomérules de plus grande taille (England 1996). Chez le chien adulte, en revanche, les glomérules matures sont uniformément répartis dans le cortex rénal.

Concernant l'angiologie, les vaisseaux constituant le cortex rénal sont très peu fenestrés. Le nombre de fenestrations dans les vaisseaux du cortex "externe" est moindre, tandis que dans le cortex "interne", ce nombre de fenestrations s'approche de celui chez l'adulte. La concentration en tubules proximaux est bien plus importante dans le cortex rénal interne que dans le cortex rénal externe chez des chiots Beagle âgés de 2 à 4 jours (Evan et Hay 1981). Une concentration plus élevée en glomérules de grande taille, en vaisseaux fenestrés et en tubules proximaux dans le cortex interne est responsable d'une échogénicité plus tissulaire, et donc plus élevée que celle du cortex externe. Les changements de distribution du flux sanguin intra-rénal sont corrélés avec la période de néphrogenèse : à J12, le flux sanguin dans les deux cortex est le même (Zoetis et Hurtt 2003). Toutes ces analyses histologiques du cortex rénal du nouveau-né permettent de comprendre la différenciation en deux couches distinctes du cortex rénal observée à l'échographie.

#### **À deux semaines d'âge**

À deux semaines d'âge, l'échogénicité du cortex rénal diminue (England 1996). Dans notre étude, la plupart des chiots (96%) avaient un rein gauche hypoéchogène par rapport au parenchyme splénique et il n'y avait plus de différenciation du cortex rénal en deux couches.

#### **À un mois d'âge**

Selon England (1996), l'aspect des reins est le même que chez un chien adulte, ce que nous avons également observé dans notre étude.

#### ❖ Echogénicité du rein droit par rapport au foie

Nous avons observé que le cortex du rein droit était isoéchogène par rapport au parenchyme hépatique chez le chiot. Ceci a également été observé en humaine : l'échogénicité du cortex rénal du nouveau-né de moins d'1 mois est équivalente à l'échogénicité du parenchyme hépatique (Hricak et al. 1983).

#### ❖ Aspect du foie à l'échographie

Nous avons observé que l'aspect échographique du foie était similaire chez le chiot et l'adulte comme déjà décrit dans la littérature (England 1996). Le parenchyme hépatique est uniforme, hypoéchogène d'échotexture piquetée, grossière. Cependant, le parenchyme hépatique peut être légèrement moins piqueté pendant les 8 premières semaines de vie du chiot comparé à un parenchyme d'adulte (England 1996). Cette observation n'a pas été confirmée par notre étude.

Dans notre travail, nous avons pu différencier les différents vaisseaux du parenchyme hépatique dans la mesure où la paroi des vaisseaux porte était déjà visible et hyperéchogène. Ceci a déjà été constaté dans la littérature (Hoskins 1995). Les vaisseaux portes ont pu être identifiés à la fois sur le chiot et l'adulte, même si la paroi était moins bien définie et moins échogène chez le chiot durant les 8 premières semaines de vie. En effet, à l'examen histologique, la paroi des vaisseaux portes est plus fine et moins fibreuse pour les nouveau-nés (Hoskins 1995).

Nous avons également pu visualiser la vésicule biliaire des chiots. L'aspect échographique semble identique à ce qu'on observe chez le chien adulte. Aucune différence n'a été mise en évidence entre les chiots et les adultes concernant l'aspect échographique de la vésicule biliaire, à la fois de la paroi ou du contenu (England 1996).

#### f) Dilatation pyélique

Nous avons vu qu'à deux jours de vie, deux tiers des chiots présentaient des dilatations pyéliques suffisamment importantes pour être observées en coupes transversale et longitudinale. Cette proportion diminue ensuite progressivement : elle reste importante jusqu'à deux semaines d'âge puis se stabilise à 4% jusqu'à deux mois de vie (Figure 15).

Des échographies ont été réalisées sur 15 chiennes entre 30 jours et 62 jours de gestation afin de caractériser le développement fœtal du rein (Gil et al. 2018). L'objectif de l'étude était de trouver une relation entre les dimensions du rein et le stade de gestation comme moyen complémentaire d'estimation de la date de mise-bas. Quatre périodes distinctes ont été définies, pendant lesquelles le degré de dilatation pyélique se réduit progressivement, jusqu'à n'être plus du tout visible à la naissance des chiots. À la naissance, plus aucun chiot ne présentait de dilatation pyélique. Ceci suggère que les dilatations pyéliques observées n'étaient pas nécessairement physiologiques et qu'elles étaient peut-être dues, dans notre étude, à des affections de l'appareil urinaire sous-jacentes. En effet, la majorité des chiots exclus des analyses statistiques l'ont été du fait d'anomalies échographiques au niveau des rénales (agénésies rénales droite et gauche, hydronéphroses). Ceci peut suggérer une prédisposition à des troubles rénaux dans cet élevage, et donc expliquer un taux anormal de dilatation pyélique chez les chiots pourtant dits « sains ».

Cependant dans certaines études menées chez l'homme, il a été rapporté que la diurèse pouvait induire des modifications de l'aspect échographique des reins comme des dilatations pyéliques, voire même des hydronéphroses. De la même manière chez le chien adulte, une pyélectasie iatrogénique peut être observée suite à la mise en place d'une fluidothérapie (Jakovljevic et al. 1999 ; Pugh et al. 1994).

Ainsi, par analogie à la fluidothérapie, on peut émettre l'hypothèse que pendant les deux premières semaines de vie, le fait que le chiot reçoive une alimentation exclusivement lactée et donc liquide, sachant qu'il tète de façon quasi permanente, entraîne une diurèse, et donc une production d'urine, continue, ce qui pourrait être à l'origine de dilatations pyéliqués physiologiques chez les chiots dans les premières semaines de vie.

Ensuite, la proportion de chiots présentant des dilatations pyéliqués diminue du fait du changement alimentaire : l'alimentation lactée diminue au profit de l'alimentation solide et donc la diurèse n'est alors plus continue. Cette hypothèse est corroborée par des observations réalisées chez le poulain, chez qui une dilatation du bassinet et de la partie proximale de l'uretère est observée, contrairement aux chevaux adultes (Hoffmann et al. 2000). Or chez un poulain nouveau-né en bonne santé, la fréquence moyenne de tétée du lait est de 4 fois/heure (Tyler 1972). Par conséquent, la production continue d'urine pourrait permettre d'expliquer cette dilatation du bassinet et de l'uretère à l'échographie. Par analogie, on peut expliquer les dilatations observées chez le chiot dans les deux premières semaines de vie et le fait que la proportion de dilatations diminue ensuite, du fait du changement de diurèse.

A l'issue de l'analyse des images que nous avons observées, il est possible de lister certaines images anormales chez l'adulte qui peuvent être physiologiques chez le nouveau-né :

- présence d'un discret épanchement (anéchoïque) intra-abdominal
- foie de grande taille
- cavités pyéliqués légèrement dilatées
- ganglions mésentériques développés et nettement apparents.

## 2. Morphométrie

Dans notre étude, l'évolution du poids et du volume corporel du chiot semblait suivre une courbe d'allure exponentielle. Ceci a déjà été constaté dans la littérature (England 1996). Nos données sont récoltées jusqu'à l'âge de 8 semaines mais cette phase exponentielle se poursuit. Il est rapporté dans la littérature que le taux de croissance du chiot évolue également de manière exponentielle jusqu'à ce que le chiot atteigne environ la moitié de sa taille adulte (Peterson et Kutzler 2010). La date de fin de croissance dépend donc du format du chien, les races *toys* finissant leur phase exponentielle de croissance à environ 11 semaines alors que les Mastiffs achèvent cette phase à environ 23 semaines.

On aurait pu comparer la circonférence crânienne du chiot (rapportée au poids) à celle du chien adulte. En effet, dans l'espèce humaine, il est admis que la tête d'un enfant est relativement plus grande et lourde que celle d'un adulte et que le tronc est relativement large à la naissance puis ce sont les membres qui s'allongent (Pelizzo et al. 2018). À la naissance, la tête a acquis 66% de sa taille adulte et 80% au bout de 6 mois (Davenport 1941). L'intérêt du développement précoce de la tête est que le cerveau doit être prêt, dès la naissance, à assurer la plupart de ses fonctions. Les sens des nouveau-nés deviennent rapidement fonctionnels, ils regardent la lumière du jour rapidement après la naissance, ils réagissent aux sons en quelques jours, leur sens du goût est particulièrement bien développé. Le système neuromusculaire est suffisamment développé pour permettre au nouveau-né de téter et de bouger les extrémités. Le cerveau doit acquérir de nombreuses étapes de développement avant de pouvoir assurer des tâches mentales plus complexes telle que l'apprentissage de la parole. Le cerveau humain dénombre 13 milliards de neurones dans le cortex cérébral, auxquels s'ajoutent des centaines de millions de neurones dans le cervelet. Pour que tout soit fonctionnel avant que l'enfant ne commence à marcher, vers l'âge d'un an, le développement du cerveau doit commencer le plus tôt possible et évoluer rapidement.

Il aurait été intéressant d'étudier l'effet de l'âge de la mère sur les caractéristiques morphométriques des chiots. En effet, deux études, l'une menée sur 38 chiots de race Berger Kangal et une autre menée sur 82 chiots de race Bergers Allemand, ont montré l'effet significatif de l'âge de la mère sur les caractéristiques morphométriques des chiots (Elmaz et al. 2008 ; Elmaz et al. 2012). Les paramètres morphométriques à 38 et 52 jours d'âge étaient plus élevés pour les chiots issus de mères âgées de 8 ans que chez ceux issus des mères de moins de 3 ans ou de moins de 5 ans. Cette observation peut s'expliquer soit par le comportement de la mère, soit une production de lait maternel de meilleure qualité, soit par un effet de confusion avec la taille de la portée (plus la mère est âgée, plus la taille de portée est petite). Il a également été montré que la taille de la portée avait un effet significatif sur les paramètres morphométriques : les chiots issus d'une portée de 5 avaient des paramètres morphométriques plus élevés que les chiots issus de portées de 7 (Elmaz et al. 2012).

### 3. Paramètres quantitatifs relatifs aux organes échographiés

#### a) Foie

Nous avons montré, par l'intermédiaire du ratio surface de la coupe du lobe hépatique/poids, que le foie avait une taille relative de moins en moins importante au sein de l'organisme au cours des deux premiers mois de vie du chiot (Figure 25). À la naissance, le chiot a des besoins énergétiques importants qui sont assurés, dans les premiers jours de vie, par la glycogénolyse via l'utilisation des réserves en glycogène du foie. Ces réserves hépatiques en glycogène assurent le maintien de la concentration sanguine en glucose dans les premiers jours de vie (Miettinen et Kliegman 1983). Sachant que l'hypoglycémie est une cause majeure de mortalité néonatale (Indrebø et al. 2007), ceci montre l'importance fonctionnelle du foie à la naissance. Le foie n'a ensuite plus une importance aussi prépondérante, ce qui pourrait expliquer qu'il ait une taille de moins en moins grande, proportionnellement au reste du corps.

#### b) Reins

##### ❖ Comparaison entre le rein gauche et le rein droit

L'étude a mis en évidence une différence de longueur en coupe sagittale faible, mais statistiquement significative entre le rein droit et le rein gauche (Figures 27 et 28). En moyenne, le rein droit était plus grand que le rein gauche chez les chiots. En effet, sur les deux premiers mois de vie, en moyenne 82% des chiots présentaient un rein droit plus long en coupe sagittale que le rein gauche.

Cette différence de taille entre les deux reins a été très peu rapportée dans la littérature récente. Une différence moyenne de 2,3 mm sur 100 chiens adultes a été montrée (Barr et al. 1990), ce qui est identique à ce que nous avons trouvé en moyenne sur les 50 chiots inclus dans notre étude (moyenne de tous les âges). Cette différence de longueur était faible et comme pour notre étude, à peine au-dessus de la résolution latérale de la sonde utilisée dans l'étude (résolution latérale entre 1,3 et 2,0 mm). De surcroît, d'autres études ont montré chez le chien adulte, que les deux reins étaient de tailles statistiquement comparables, en longueur et en volume (Mareschal et al. 2007 ; Barella et al. 2012).

Chez l'enfant, différentes études (Fernandes et al. 2002 ; Safak et al. 2005 ; Mohtasib et al. 2019), dont une étude menée sur 950 enfants sains de la naissance à 14 ans (Mohtasib et al. 2019) et une autre menée sur 720 enfants, âgés de 7 à 15 ans (Safak et al. 2005), ont montré que le rein gauche était significativement plus long que le rein droit. Ceci a été mis en relation avec le fait que la rate étant moins volumineuse que le foie, le rein gauche a plus de place pour s'allonger et grandir, contrairement au rein droit dont la croissance se retrouve limitée par le foie au niveau du bord crânial (Fernandes et al. 2002).

Ainsi il semblerait très paradoxal qu'on ait un résultat inverse chez le chiot, chez qui l'anatomie est similaire à celle de l'enfant au niveau de la position des reins.

Par conséquent, si on se base sur la résolution latérale, la faible valeur de la différence en moyenne, et les études bibliographiques plus récentes menées chez le chien adulte et l'enfant, on peut émettre l'hypothèse que les deux reins étaient de longueur similaire chez le chiot et ainsi on peut s'affranchir de la distinction droite/gauche. Ceci serait en accord avec ce qui est actuellement considéré pour le chien adulte et l'enfant.

De plus, comme pour l'étude concernant les 100 chiens adultes (Barr et al. 1990), aucune différence significative de volume entre les deux reins n'a été observée malgré une différence de longueur dans notre étude.

#### ❖ Ratio longueur RG/longueur chiot

Nous avons montré que le ratio entre la longueur du rein gauche et la longueur os occipital-croupe diminuait de façon significative à partir de 7 jours d'âge, ce qui montre que la longueur globale du chiot augmentait plus vite que celle du rein à partir de 7 jours d'âge. Ceci est corroboré par la valeur très élevée des coefficients de corrélation linéaire calculés, qui confirme la forte corrélation entre les longueurs rénales et la longueur du corps (Tableau 3).

D'autre part, les gains calculés mettent en évidence une croissance corporelle très rapide en longueur durant les 3 premières semaines (en moyenne un gain journalier de 3,3 %/jour de longueur du corps entre 2 et 21 jours d'âge contre 1,8%/jour ensuite jusqu'à J56). Pour la longueur rénale en revanche, le gain est plus faible (en moyenne un gain journalier de 3,0%/jour de longueur rénale entre 2 et 21 jours d'âge contre 1,3 %/jour ensuite jusqu'à 56 jours d'âge) ce qui confirme la croissance plus rapide de la longueur globale du chiot par rapport à celle du rein. Nous avons vu de façon identique que, pour la longueur du corps et la longueur des reins, la croissance se faisait majoritairement durant la période néonatale, puis elle ralentissait jusqu'à 56 jours d'âge (Figures 35 et 36).

Nos résultats sur les 50 chiots ont révélé que la longueur des deux reins était mieux corrélée avec la longueur du corps (approchée par la mesure de la longueur os occipital-croupe) qu'avec l'âge et le poids. Ceci est en accord avec d'autres études menées chez le chien adulte et chez l'enfant. La taille est en effet le paramètre morphométrique qui présente la plus grande corrélation avec les longueurs rénales chez l'enfant (Konus et al. 1998 ; Kim et al. 2013 ; Mohtasib et al. 2019).

Les dimensions rénales étaient également bien corrélées avec les autres paramètres morphométriques du chiot ( $R=0,91-0,97$ , Tableau 3), à savoir la circonférence du thorax et de la tête.

Cependant pour des raisons pratiques et malgré une plus faible corrélation, le poids étant plus rapide à obtenir et plus objectivable que les autres mesures (acquisition immédiate et répétable avec balance contre variabilité de la mesure pour les autres), nous avons choisi de réaliser la base de données sur la répartition physiologique des dimensions des reins en fonction du poids (Tableau 7).

#### ❖ Ratios : Volume rénal total/Poids ; Volume rénal/volume corporel

Nous avons montré, via les ratios du volume rénal sur le poids et sur le volume corporel du chiot, qu'à partir de 3 semaines d'âge, le rein avait une taille relative dans le corps de moins en moins importante au vu du ratio qui diminuait de manière significative à partir de J21 (Figures 31 et 32). Or, comme dit précédemment, contrairement à la plupart des espèces, la néphrogenèse chez le chien se poursuit après la naissance pendant au moins deux semaines (Zoetis et Hurtt 2003).

Ainsi, on voit que le début de la diminution significative de la taille relative du rein et de son volume coïncide avec la fin de la néphrogenèse chez le chiot. On peut alors émettre l'hypothèse qu'à partir de la fin de la néphrogenèse, la taille relative du rein devient de moins en moins importante. Ceci est corroboré par les résultats de gain obtenus pour la croissance du rein : le volume rénal avait un gain journalier moyen de 13,1%/jour sur les 3 premières semaines de vie, puis ce gain chute à 5,0%/jour entre 21 et 56 jours d'âge (Figure 36). Ainsi la croissance du rein est très importante durant la fin de la néphrogenèse, puis cette croissance ralentit, ce qui induit une diminution progressive de la taille relative des reins dans le corps.

Le volume des reins, en valeur absolue, augmentait, tandis que les ratios montraient que leur volume relatif était de moins en moins important par rapport au poids et au volume du chiot.

#### c) Rate

Comme pour les chiots dans notre étude, chez l'enfant, il y avait un effet significatif de l'âge sur la taille de la rate, surtout pour les groupes d'enfants âgés de moins de 3 ans et ceux âgés de 4 à 10 ans (Pelizzo et al. 2018). Le ratio entre le volume de la rate et le volume abdominal diminuait avec l'âge chez l'enfant comme on a pu l'observer dans notre étude pour le rein.

#### d) Tractus intestinal

Dans notre étude, seule la muqueuse était mesurée, car c'est la seule couche de la paroi digestive qui était échographiquement visible chez les chiots de moins d'un mois. L'épaisseur moyenne de la muqueuse jéjunale représente à elle seule 60% de l'épaisseur totale de la paroi intestinale (Stander et al. 2010a ; Gladwin et al. 2014).

Nous avons vu que l'épaisseur de la muqueuse digestive en coupe transversale augmentait avec l'âge. En coupe longitudinale, l'épaisseur de la muqueuse digestive n'était significativement plus importante qu'à partir de 56 jours d'âge. Ceci suggère un épaississement de la muqueuse digestive avec l'âge durant les deux premiers mois de vie du chiot. Dans la littérature, les résultats concernant l'effet de l'âge sur l'épaisseur de la muqueuse intestinale diffèrent d'une étude à l'autre. En effet, en 2017, dans une étude incluant 84 chiots âgés de 4 à 16 semaines, une corrélation positive a été montrée entre l'épaisseur des muqueuses duodénale et jéjunale et l'âge des chiots (Banzato et al. 2017). Ceci diffère des résultats d'une étude menée en 2010 sur 23 chiots, âgés de 7 à 12 semaines dans laquelle l'âge et le poids corporel des chiots avaient une influence sur l'épaisseur de la paroi duodénale, mais pas sur l'épaisseur de la paroi jéjunale, ni sur les muqueuses jéjunale et duodénale (Stander et al. 2010b).

Dans l'étude précédemment citée, sur les 84 chiots âgés de 4 à 16 semaines, l'épaisseur de la paroi et des muqueuses du jéjunum et du duodénum a été mesurée (Banzato et al. 2017). Les résultats de notre étude et de l'étude réalisée par Banzato et al. sont rapportés dans le Tableau 9. Ces résultats peuvent être aisément comparés car dans les deux études, les échographies ont été réalisées sur des chiots d'âges équivalents (4 et 8 semaines dans l'étude vs 35 et 56 jours dans notre étude), et dans les deux cas, les muqueuses digestives ont été mesurées en coupe transversale.

On constate que les mesures d'épaisseur de la muqueuse digestive dans notre étude sont en réalité plus proches des mesures d'épaisseur de muqueuse duodénale que de muqueuse jéjunale, obtenus par Banzato et al (2017), sur 84 chiots (Tableau 9). En effet, dans notre étude, pour un chiot de 4 semaines d'âge, l'épaisseur moyenne de la muqueuse digestive était de  $2,09 \pm 0,36$  mm en coupe transversale, contre  $2,10 \pm 0,34$  mm pour la muqueuse duodénale dans l'étude de Banzato et al, ce qui est très proche. Les épaisseurs de muqueuse jéjunale étaient inférieures (de l'ordre de 1,5 à 2 mm dans l'étude de Banzato et al (2017)). Ainsi, il est possible que les mesures aient parfois été réalisées sur des anses duodénales. Ceci expliquerait que les résultats obtenus dans notre étude soient supérieurs à ce qui est rapporté dans la littérature concernant la muqueuse jéjunale.

Tableau 9 : Epaisseur des muqueuses duodénales et jéjunales mesurées à l'échographie chez le chiot de 4 à 16 semaines d'âge, comparée à l'épaisseur mesurée dans notre étude (les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  SD).  
CT : coupe transversale, CL : coupe longitudinale.

Age du chiot	Banzato et al. 2017		Résultats de notre étude
	Muqueuse du duodénum (CT)	Muqueuse du jéjunum (CT)	Muqueuse du jéjunum (CT)
4 semaines	$2,10 \pm 0,34$ mm	$1,48 \pm 0,29$ mm	$2,09 \pm 0,36$ mm
8 semaines	$2,49 \pm 0,42$ mm	$1,76 \pm 0,32$ mm	$2,52 \pm 0,26$ mm
16 semaines	$2,95 \pm 0,47$ mm	$1,99 \pm 0,38$ mm	NE

Nos résultats pour les chiots âgés de 8 semaines se rapprochent de ceux obtenus pour un chien adulte de grand format (plus de 1 an d'âge). En effet, dans une étude menée sur 203 chiens adultes (118 chiens inclus au total), divisés en 3 groupes selon leur poids corporel (<15kg, 15-30 kg, > 30 kg), l'épaisseur moyenne de la muqueuse jéjunale en coupe longitudinale, pour un chien adulte de grand format, était de  $2,2(\pm 0,5)$ mm (Gladwin et al. 2014) contre  $2,00(\pm 0,29)$ mm dans notre étude.

Il est intéressant de souligner que, selon Di Donato et al. (2014), il n'existe pas de différence significative entre les mesures de paroi intestinale, réalisées en coupe longitudinale ou transversale. À l'inverse, dans notre étude, la muqueuse des anses en coupe transversale était significativement plus épaisse que celle mesurée sur des anses en coupe longitudinale. Il est également important de noter que les mesures réalisées dans notre étude concernent un format de chien particulier. Or, il existe une différence d'épaisseur de muqueuse jéjunale en fonction du gabarit du chien (Gladwin et al. 2014).

L'évaluation échographique de l'épaisseur des différentes couches de la paroi est une part importante de l'échographie abdominale chez le chiot. En effet, ces mesures peuvent être notamment appliquées chez les chiots atteints de parvovirose. Un amincissement significatif des muqueuses jéjunale et duodénale a notamment été rapporté dans une étude, menée sur des chiots âgés de 7 à 12 mois, atteints de parvovirose (Stander et al. 2010a). Cet amincissement de la muqueuse se fait sans modification de l'épaisseur totale de la paroi, ainsi les autres couches de la paroi (sous-muqueuse, musculuse et séreuse) sont, à l'inverse de la muqueuse, plus épaisses que la normale, ce qui induit une conservation de l'épaisseur globale de la paroi. Bien que non pathognomonique de la parvovirose, cet amincissement des muqueuses semble être un des signes les plus évocateurs de cette maladie. Ce phénomène serait lié, d'après les résultats des examens d'histopathologie, à une nécrose et une érosion importantes de l'épithélium, du fait de la nécrose des cryptes intestinales et de l'atrophie des villosités.

#### 4. Gain journalier des paramètres morphométriques et des différents organes

Dans notre étude, le gain journalier des 4 paramètres morphométriques (poids, circonférence de la tête, circonférence du thorax et longueur os occipital-croupe) évoluait de manière similaire : croissance importante durant les premiers jours de vie, puis ralentissement progressif dans les semaines qui suivaient. Cependant, le gain journalier était plus important pour le poids que pour les autres paramètres morphométriques. Pour le poids corporel, on constate dans notre étude que, dans les premiers jours de vie, le chiot gagnait plus de 11,3% de son poids chaque jour tandis qu'au cours du deuxième mois de vie, le gain de poids était diminué par plus de deux, le chiot ne gagnait plus que 4,3% de son poids chaque jour. Un chiot devrait au moins présenter un gain de poids de 10%/jour, ce qui est le cas en moyenne dans notre étude et il ne devrait pas perdre plus de 10% de son poids (Hoskins 1995).

Globalement, le gain journalier des organes abdominaux était également maximal dans les premiers jours de vie du chiot puis il diminuait progressivement jusqu'à J56 avec une légère stagnation entre 7 et 21 jours d'âge. Cependant, on distingue deux tendances différentes. La rate et le volume rénal total montraient une diminution très importante du gain journalier dès 7 jours d'âge. Un ralentissement de la vitesse de croissance de la rate a également été rapporté chez l'enfant (Pelizzo et al. 2018). L'épaisseur de la rate était multipliée par 1,37 des catégories moins de 3 ans à la catégorie 4-10 ans et elle était seulement multipliée par 1,18 des catégories 4-10 ans à 11-18 ans (Pelizzo et al. 2018). Le ralentissement de la croissance a lieu plus tard pour la longueur rénale et pour la surface hépatique : le gain journalier restait constant pendant les 3 premières semaines de vie, puis subissait une chute importante à 3 semaines d'âge. Ceci montre que la croissance en longueur des reins et celle de la surface hépatique se faisait principalement pendant la période néonatale, puis la croissance ralentissait de manière importante.

Tout ceci corrobore les résultats de la littérature : les organes et les mesures morphométriques croissent chacun à une vitesse spécifique (Pelizzo et al. 2018).

#### 5. Corrélation entre la morphométrie externe et les dimensions des organes

Les dimensions des reins, du foie et de la rate présentaient des corrélations fortes avec les différents paramètres de morphométrie externe mesurés (coefficients de corrélation linéaire R variant entre 0,90 et 0,97, calculés via une analyse de corrélation de Pearson). Ceci suggère qu'à partir des différentes mesures morphométriques d'un chiot, on peut extrapoler les dimensions normales que devraient avoir des organes abdominaux chez l'animal sain. Une étude échographique menée sur 253 nouveau-nés a confirmé cette observation en montrant que la dimension des organes augmente en même temps que la taille de l'enfant (Soyupak et al. 2002).

Dans une étude antérieure, réalisée sur 279 à 307 enfants suivant l'organe considéré, la taille de l'individu était le paramètre le mieux corrélé avec les dimensions longitudinales des organes, mesurées à l'échographie (Konus et al. 1998). Les résultats obtenus dans cette étude sont présentés dans le tableau 10. Dans notre étude, les coefficients de corrélation calculés étaient similaires pour tous les paramètres morphométriques étudiés, ce qui montre que les paramètres que nous avons mesurés étaient tous bien représentatifs de la morphologie du chiot et bien corrélés avec la dimension des organes (Tableau 3).

Tableau 10 : Coefficients de corrélation polynomiale (R) des différentes dimensions des organes, obtenues par échographie chez des enfants de 5 jours à 16 ans (n=299 pour la rate, n=279 pour les reins, n=307) (Konus et al. 1998). NE = non évalué.

Paramètres morphométriques et âge	Rein gauche		Rein droit		Foie	Rate
	Longueur	Hauteur	Longueur	Hauteur		
<b>Poids</b>	0,88	0,79	0,89	0,82	0,74	0,69
<b>Taille</b>	<b>0,93</b>	<b>0,85</b>	<b>0,94</b>	<b>0,86</b>	<b>0,81</b>	<b>0,70</b>
<b>Circonférence de la tête</b>	NE	NE	NE	NE	NE	NE
<b>Circonférence thoracique</b>	NE	NE	NE	NE	NE	NE
<b>Age</b>	0,90	0,83	0,91	0,84	0,78	0,67

Toujours dans l'étude menée sur des enfants (Konus et al. 1998), on constate que les coefficients de corrélation calculés étaient très similaires, voire égaux pour certains paramètres, à ceux obtenus dans notre étude pour les reins (Comparaison entre les tableaux 3 et 10). Pour la rate et le foie, les coefficients de corrélation étaient moins proches du fait, peut-être, d'une différence dans la façon de mesurer les dimensions : la mesure du foie correspondant à la surface de la coupe d'un lobe dans notre étude, contre la longueur prise en coupe sagittale du lobe dans les travaux de Konus et al. Pour la rate, les coefficients de corrélation linéaire calculés étaient plus faibles que pour les autres organes, ce qui suggère que les dimensions spléniques étaient plus faiblement corrélées aux paramètres morphométriques que celles des deux autres organes étudiés. Ceci pourrait être dû au fait que les mesures spléniques étaient plus fluctuantes que pour les autres paramètres mesurés.

Il faut cependant noter que les coefficients de corrélation de l'étude de Konus et al. sont des coefficients de régression polynomiale, tandis que dans notre étude il s'agit de coefficients de corrélation de régression linéaire. Des coefficients de régression polynomiale ont également été calculés dans notre étude mais non exploités, bien qu'ils étaient légèrement supérieurs à ceux calculés en régression linéaire.

Les coefficients de corrélation linéaire calculés entre l'âge et la morphométrie externe étaient élevés pour tous les paramètres mesurés sur les chiots (coefficients de corrélation R entre 0,96 et 0,98 ; Tableau 4). Ces coefficients étaient du même ordre de grandeur voire égaux à ceux calculés dans une étude précédente, menée sur 5 chiots de la naissance à 6 mois : R=0,99 entre le poids et l'âge dans l'étude citée contre 0,97 dans notre étude, R=0,96 entre la circonférence du thorax et l'âge contre 0,97 et R=0,98 la longueur os occipital-croupe et l'âge contre 0,98 (England 1996).

## 6. Effet du poids de naissance

Le taux de mortalité durant les 3 premières semaines de vie dans l'espèce canine est connu pour être l'un des plus élevés des animaux domestiques. Les individus à risque élevé de mortalité néonatale sont notamment les chiots naissant avec un PPDN (Mila et al. 2015 ; Mugnier et al. 2019). En effet, chez le chien, comme dans de nombreuses autres espèces, un PPDN majore fortement le risque de mortalité néonatale : un chiot avec un PPDN a 12 fois plus de risque de mourir pendant la période néonatale qu'un chiot avec un poids de naissance normal (Groppetti et al. 2015 ; Mila et al. 2015). En effet, 81,1% des chiots qui meurent entre 0-2j sont dans les 25% des poids de naissance les plus faibles (Mila et al. 2015). Il est donc important de porter une attention particulière à ces chiots pour essayer de limiter au maximum le taux de mortalité en élevage canin.

L'étude ayant porté sur les paramètres morphométriques et l'échographie du chiot, il est donc naturel de se demander si les observations faites précédemment sont toujours applicables dans cette sous-population à risque. On peut se douter qu'un PPDN présente des paramètres morphométriques moindres par rapport à un chiot de poids de naissance normal. Mais qu'en est-il des organes abdominaux ? Est-ce que ce retard de croissance pondérale est aussi répercuté sur les organes ? Au bout de combien de temps le retard est-il rattrapé ?

### a) Paramètres morphométriques

#### ❖ Poids, circonférence de la tête, circonférence thoracique, longueur os occipital-croupe et volume corporel estimé du chiot

Nous avons montré que les chiots à PPDN avaient des paramètres morphométriques significativement plus faibles que les chiots avec un poids de naissance normal jusqu'à 35 jours d'âge puis ils atteignaient des caractéristiques morphométriques similaires aux chiots à poids de naissance normal (Figure 38). En revanche, le poids moyen restait statistiquement plus faible chez les chiots PPDN par rapport aux chiots de poids de naissance normal jusqu'à 56 jours : les PPDN conservaient un retard de croissance pondérale qui n'était pas encore rattrapé à 56 jours d'âge (Figure 37).

On aurait pu également étudier les caractéristiques morphométriques de la mère et voir si elles ont une influence sur le poids de naissance des chiots, car cela n'a jamais été étudié chez le chien. En effet, chez l'homme, la circonférence de la tête de la mère permet d'avoir indirectement une idée du caractère « petit poids de naissance » ou non des nouveau-nés et présente un avantage pronostique (Peterson et al. 2006). L'étude montre que certaines caractéristiques maternelles, notamment la taille ou le poids de la mère, sont corrélés au poids du nouveau-né.

#### ❖ Ratio Circonférence de la tête/Poids

Chez le porc, un faible poids de naissance résulte dans la majorité des cas d'un retard de croissance intra-utérin (RCIU) dont il existe deux types (Sharma et al. 2016). D'une part, le retard de croissance dit « symétrique » se caractérise par une diminution proportionnelle de tous les organes de façon homogène et une altération importante de la croissance après la naissance. D'autre part, le retard de croissance dit « asymétrique », qui est le profil le plus représenté dans l'espèce porcine avec 70% des diagnostics contre 30% pour le profil précédent, provient d'une insuffisance utéro-placentaire. Il est caractérisé par un développement asymétrique des organes du fait de la redirection du flux sanguin vers le cerveau afin de préserver ses fonctions vitales, au détriment des autres organes dont le développement est ainsi compromis. On parle de « brain sparing effect » (Barbero et al. 2018).

Contrairement au chien, le porc a été largement utilisé comme modèle d'étude du RCIU. En effet, il s'agit d'un modèle idéal du fait des retards de croissance spontanés et fortement prévalents dans cette espèce (Etuk 2010). Durant les 10 dernières années, la fréquence des retards de croissance intra-utérins a augmenté de façon significative, de 6 à 30% chez les porcelets nouveau-nés. Ceci coïncide avec la sélection génétique sur les femelles reproductrices, qui ont induits un accroissement important de la taille des portées (Ferenc et al. 2014), associé à une forte diminution du poids de naissance des porcelets.

Un faible poids de naissance était le critère le plus évident, en l'état actuel des recherches, pour identifier un RCIU. Cependant ce critère isolé n'est pas toujours fiable pour établir un diagnostic (Giabicani et al. 2018). L'observation des mesures morphométriques autres que le poids peut être intéressante en complément, pour diagnostiquer un RCIU (Felicioni et al. 2019).

Dans notre étude, les chiots à PPDN avaient une circonférence crânienne significativement plus faible que les chiots à poids de naissance normal jusqu'à 35 jours d'âge (Figure 39). Pour s'affranchir du poids, nous nous sommes également intéressées au ratio entre la circonférence de la tête et le poids ce qui permet de comparer les circonférences crâniennes des PPDN et des chiots à poids de naissance normal, de manière indépendante du poids corporel. Ce ratio était statistiquement supérieur chez les PPDN jusqu'à 56 jours, ce qui montre que relativement au poids, la tête était de taille supérieure chez les chiots à PPDN par rapport aux chiots à poids de naissance normal tout au long des 2 premiers mois de vie. Ceci a également été montré chez les porcelets ayant eu un RCIU (Felicioni et al. 2019). Par ailleurs, 142 porcelets atteints de RCIU et 142 porcelets dits « normaux » ont été comparés (Lynegaard et al. 2019). Au sevrage, une partie des porcelets était euthanasiée en vue de réaliser des mesures de leurs organes. Les résultats montrent que les RCIU avaient des organes significativement plus petits que les porcelets normaux tandis que le cerveau était significativement plus gros chez les RCIU, relativement à leur poids. En effet, les RCIU avait un cerveau qui pesait 10,1 g/kg contre 7,3 g/kg pour les porcelets normaux. Comme dit précédemment, ceci reflète ce qu'on appelle le « brain sparing effect » qui se caractérise, pendant la gestation, par une redirection du flux sanguin vers le cerveau et le cœur pour préserver les fonctions vitales au détriment des autres organes (Barbero et al. 2018). Ainsi certains porcelets ayant subi un RCIU peuvent être identifiés à l'apparence caractéristique de leur tête qui ressemble à une tête de dauphin : « dolphin-shaped head » (Chevaux et al. 2010 ; Hales et al. 2013).

Ainsi comme chez le porcelet, la circonférence crânienne semble être un bon indicateur (en complément du poids de naissance) pour détecter les chiots ayant subi un RCIU.

#### b) Foie

Pendant les deux premières semaines de vie, les chiots de PPDN avaient une surface de lobe hépatique, et donc par extrapolation un foie, plus petit (Figure 40). On sait que chez les chiots avec un PPDN, la mortalité néonatale, est majorée de 0 à 2 jours d'âge car ils sont plus sujets notamment à l'hypoglycémie et à l'hypothermie (Mugnier et al. 2019). Le risque majoré d'hypothermie est dû à leur ratio surface sur volume élevé, à leur faible proportion de tissu adipeux, à l'inefficacité du contrôle vasomoteur et à leur incapacité à frissonner (Groppetti et al, 2015). Concernant le risque d'hypoglycémie, nous avons montré que les PPDN présentaient un foie de plus petite taille par rapport à leur poids durant la première semaine de vie, ce qui suggère des réserves en glycogène moins importantes et donc une capacité de néoglucogenèse plus limitée.

#### ❖ Ratio Surface de la coupe du lobe hépatique/Poids

Pendant les deux premières semaines de vie, on a vu que les PPDN présentaient un foie moins grand que les chiots de poids de naissance normaux, en valeur absolue.

Cependant en s'affranchissant de l'effet du poids, via le ratio de la surface de la coupe du lobe hépatique sur le poids, nous avons montré qu'entre 2 semaines et 1 mois d'âge, les PPDN avaient une surface de coupe du lobe hépatique, relativement à leur poids, plus importante que les chiots nés avec un poids de naissance normal. Les PPDN gardaient donc un foie plus gros, plus longtemps par rapport aux chiots à poids de naissance normal, probablement du fait de leur retard de croissance (poids et paramètres morphométriques inférieurs).

Ceci fait écho à ce qui a également été montré chez le porcelet. En effet, d'après Lynegaard et al (2019), les porcelets ayant subi un RCIU avaient un foie plus gros relativement à leur poids corporel que les porcelets « normaux » au moment du sevrage : 33,5 g/kg contre 29,2 g/kg pour les porcelets normaux. Ceci pourrait également s'expliquer par le phénomène de compensation précédemment cité (« brain sparing effect ») : après la naissance, les nutriments seraient redirigés vers les organes ayant subi un sous-développement pendant la gestation (Bauer et al. 2006). En effet, pendant la gestation, lorsqu'il y a un retard de croissance dit « asymétrique » le foie fait partie des organes recevant moins de nutriments au profit des organes vitaux tels que le cœur et le cerveau, il en résulte alors un sous-développement du foie à la naissance (Barbero et al. 2018).

#### ❖ Ratio circonférence de la tête/Surface de la coupe du lobe hépatique

Dans de nombreux modèles animaux, la relation entre la taille du cerveau et le poids du foie est mesurée de manière à déterminer la prévalence des sujets ayant subi un RCIU (Felicioni et al. 2019). Outre le poids de naissance, la relation cerveau/foie est un bon indicateur de ce retard.

Le rapport cerveau/foie reflète justement le « brain sparing effect ». Nous avons calculé le ratio entre la circonférence de la tête et la surface de la coupe du lobe hépatique et comparé les chiots de PPDN et les chiots de poids de naissance normal. Dans notre étude, les PPDN avaient un ratio entre la circonférence de la tête et la surface de la coupe du lobe hépatique significativement plus grand que les chiots avec un poids de naissance normal à deux jours d'âge (Figure 41). Ceci était également observé chez les porcelets présentant un RCIU (Felicioni et al. 2019). Comme les porcelets, les chiots de PPDN présentaient donc potentiellement majoritairement un retard de croissance intra-utérin de profil plutôt asymétrique.

De manière similaire, selon Felicioni et al (2019), les troubles de croissance des organes abdominaux tels que le foie induisaient une réduction de la circonférence abdominale chez les porcelets avec un retard de croissance intra-utérin. Nous avons choisi de ne pas mesurer la circonférence abdominale chez les chiots car celle-ci était trop variable en fonction de la réplétion de l'estomac.

Ces observations montrent que la prise en compte des paramètres de morphométrie externe, en complément du poids, sont importants dans le diagnostic des retards de croissance intra-utérin et permettent d'adapter la prise en charge de ces animaux à la naissance pour limiter la mortalité. Le poids de naissance est aujourd'hui le critère le plus utilisé pour détecter les animaux « à risque » à la naissance, qui vont nécessiter des soins complémentaires, mais d'autres critères tels que les mesures de morphométrie externe semblent être aussi valables et utiles.

#### c) Reins

Nous avons montré que les PPDN présentaient un volume rénal significativement plus faible que les chiots nés avec un poids de naissance normal jusqu'à 7 jours d'âge (Figure 42). Ceci montre que les chiots avec un PPDN naissaient avec des reins moins volumineux, et cette différence de volume, par rapport aux chiots avec un poids de naissance normal, se maintient au moins pendant la première semaine de vie du chiot pour les deux reins.

Ceci a également été observé dans une étude menée sur 145 nouveau-nés : les enfants prématurés présentaient des reins de volume significativement inférieur à celui des enfants nés à terme (Brennan et Kandasamy 2017) .

Par analogie aux bébés prématurés, on peut suggérer qu'un chiot naissant avec un PPDN présente à la naissance un stade metanephros moins avancé (i.e. moins de néphrons qui contribuent à l'augmentation du volume rénal (Zweyer 2014)), et donc une néphrogenèse plus incomplète, qu'un chiot né avec un poids normal, ce qui est reflété par un volume rénal moindre. Pour s'en assurer on aurait pu, comme dans l'étude de Brennan et Kandasamy, mesurer l'évolution du parenchyme rénal et voir si le volume rénal moindre chez les PPDN était associé à un parenchyme rénal moins épais, donc à une proportion moindre de néphrons. On peut imaginer que chez les PPDN, la néphrogenèse extra-utérine sera plus longue que chez un chiot naissant avec un poids normal et donc un rein de volume normal.

## 7. Effet du sexe

### a) Paramètres morphométriques

Les chiots naissent avec des caractères morphométriques et un poids similaires quel que soit le sexe puisque jusqu'à 35 jours d'âge le sexe n'avait pas d'influence sur la morphométrie externe du chiot (Figure 44). A partir de J35, les paramètres morphométriques et le poids des mâles étaient plus élevés que ceux des femelles. Cet écart entre les deux sexes se creusait ensuite jusqu'à J56. Comme il existe un différentiel de poids entre mâles et femelles à partir de J35, on peut émettre l'hypothèse que les paramètres morphométriques plus élevés chez les mâles sont dus à des poids plus élevés. Pour pouvoir conclure sur l'influence réelle du sexe sur les paramètres morphométriques, il faudrait donc s'affranchir du biais du poids en étudiant les ratios entre les différents paramètres morphométriques et le poids.

Dans la littérature, les résultats divergent sur l'influence du sexe sur la morphométrie externe chez le chiot. En effet, aucune différence de morphométrie externe entre mâles et femelles n'a été constatée dans une étude menée chez le chiot de 0 à 6 mois (England 1996). Tandis que dans une autre étude menée sur 789 chiots, sur les premiers jours de vie, une différence significative de poids de naissance en fonction du sexe a été trouvée (Groppetti et al. 2015), ceci n'a pas été mis en évidence dans notre étude. La différence entre mâles et femelles s'établissait plus tard au cours de la croissance.

### b) Reins

Pour les longueurs des reins en coupe sagittale, nous avons montré que les reins étaient significativement plus longs chez les mâles par rapport aux femelles, à partir de 35 jours d'âge pour le rein droit et 14 jours d'âge pour le rein gauche (Figure 45). On pourrait donc penser qu'il y a un effet significatif du sexe à partir de 35 jours d'âge et de 14 jours d'âge selon le rein. Or, nous avons précédemment mis en évidence une corrélation importante entre le poids et la longueur des reins (Tableau 3). Sachant que les mâles ont un poids plus important que les femelles à partir de 35 jours d'âge, on peut alors se demander si le poids n'est pas un biais. La différence de longueur des reins entre mâle et femelle est-elle réellement due à un effet du sexe ou est-elle uniquement due à la différence de poids existant entre les deux sexes ? Autrement dit, à poids égal, un mâle aurait-il quand même un rein plus long qu'une femelle ? Pour tenir compte de ce différentiel de poids entre les mâles et les femelles, il faudrait analyser le ratio entre la longueur des reins et le poids.

Une étude réalisée sur 100 chiens a montré que les mâles adultes avaient des reins plus longs que les femelles adultes de poids corporel similaire (Barr et al. 1990). On peut émettre l'hypothèse, en ayant conscience du potentiel biais apporté par le différentiel de poids mâle/femelle, que les chiots naissent avec des reins de taille équivalente quel que soit le sexe, jusqu'à 2 semaines et 3 semaines d'âge respectivement pour le rein gauche et droit, puis une différence mâle/femelle se crée (à 35 jours pour le rein droit et 14 jours d'âge pour le rein gauche). Cet écart de taille se maintient ensuite à l'âge adulte, comme on le retrouve dans l'étude de Barr et al.

De la même manière, dans plusieurs études menées sur des enfants, dont une étude récente menée sur 950 enfants sains de la naissance à 14 ans (Mohtasib et al. 2019) et une autre étude menée sur 560 nouveau-nés sains (Scott et al. 1990), il y a un effet du sexe sur la longueur des reins. Les deux reins étaient significativement plus longs chez les garçons. Cette différence de taille serait due uniquement au fait que les hommes aient une plus grande surface corporelle (Neugarten et al. 2002). Or, nous avons également vu dans notre étude que la longueur des reins était fortement corrélée à la longueur du chiot (Tableau 3) et que les mâles avaient une longueur os occipital-croupe significativement plus grande que les femelles, et donc par extension une surface corporelle plus importante. Pour valider cette hypothèse il aurait été intéressant de calculer la surface corporelle des chiots à partir des mesures morphométriques acquises, pour tester sa corrélation avec la longueur des reins. Nous aurions ainsi pu savoir si, à surface corporelle égale, il existait réellement un effet du sexe du chiot sur la longueur des reins.

En parallèle, la longueur des reins peut être également évaluée via la radiographie. La longueur du rein est communément comparée à la longueur de la vertèbre L2. Une étude menée sur 200 chiens montre que le ratio de la longueur du rein sur la longueur de L2 n'était pas significativement différent selon le sexe du chien (Lobacz et al. 2012), ce qui implique que la taille des reins à la radiographie n'est pas influencée par le sexe.

Pour le ratio entre le volume du rein gauche et le poids et celui entre le volume rénal total et le poids, on a montré qu'il n'y avait aucune différence significative entre les mâles et les femelles, quel que soit l'âge au cours des deux premiers mois de vie. Ainsi via ces ratios qui permettent de s'affranchir du facteur de confusion que représente le poids, on met en évidence qu'à poids égal, il n'y pas de différence significative de volume rénal en fonction du sexe.

### c) Autres organes

Aucune différence significative n'a été mise en évidence dans notre étude entre les mâles et les femelles pour l'épaisseur de la rate et de la muqueuse digestive. Plusieurs études réalisées chez l'enfant n'avaient pas non plus observé de différence entre les deux sexes pour l'épaisseur de la rate (Konuş et al. 1998 ; Soyupak et al. 2002 ; Safak et al. 2005 ; Kahramaner et al. 2015 ; Pelizzo et al. 2018). Chez le chiot, Banzato et al (2017) n'ont pas observé de différence entre les deux sexes pour l'épaisseur de la muqueuse digestive.

## CONCLUSION

Au niveau qualitatif, l'examen échographique de l'abdomen a permis de mettre en évidence la présence d'épanchement abdominal et de dilatation pyélique rénale chez respectivement 60% et 40% des chiots de deux jours d'âge. Leur prévalence diminuait ensuite. Au cours du deuxième mois de vie, le parenchyme splénique présentait un aspect hétérogène, « léopardé », les nœuds lymphatiques mésentériques étaient particulièrement développés et la structure en couches distinctes de la paroi digestive devenait visible. Au niveau quantitatif, le calcul des gains journaliers a permis de voir que les organes abdominaux avaient une croissance maximale pendant les premiers jours de vie, puis que cette croissance diminuait progressivement. Nous avons mis en évidence que le rein droit était plus grand que le rein gauche chez 74 à 92% des chiots et que cette différence, bien que minime, se maintenait tout au long des deux premiers mois de vie.

Pour ce qui est de l'influence du poids de naissance, pendant les deux premiers mois de vie, les PPDN conservaient un retard de croissance pondérale qui n'était pas encore rattrapé à 56 jours d'âge. Ils présentaient un foie plus petit et un volume rénal plus faible pendant les deux premières semaines de vie, ce qui pourrait refléter un sous-développement du foie et des reins à la naissance. En revanche, l'étude du ratio entre la circonférence crânienne et le poids a mis en évidence que les PPDN avaient, proportionnellement à leur poids, une circonférence crânienne plus élevée par rapport aux chiots de poids de naissance normal tout au long des 2 premiers mois de vie. Par analogie avec les porcelets ayant subi des retards de croissance intra-utérin (RCIU), ceci reflète le « brain sparing effect » (redirection du flux sanguin vers le cerveau et le cœur pendant la gestation pour préserver les fonctions vitales au détriment des autres organes, qui se retrouvent ainsi sous-développés à la naissance). Ainsi comme chez le porcelet, la circonférence crânienne semble être un bon indicateur (en complément du poids de naissance) pour détecter les chiots ayant subi un RCIU. Cependant, bien qu'on ait assimilé les individus ayant subis des RCIU et les PPDN tout au long de cette étude, il ne s'agit probablement pas de deux populations superposées. En effet, les recherches dans l'espèce canine sur l'origine des chiots à PPDN ne sont pas encore suffisamment avancées.

A ce jour, cette étude ne constitue qu'une base de données préliminaires pour la race Berger de Beauce. Pour réaliser de véritables intervalles de référence, il faudrait réaliser l'étude sur 100 chiots d'origine variée. Cependant, la corrélation forte existant entre les dimensions des organes et les paramètres morphométriques du chiot permet, en attendant la réalisation d'études supplémentaires chez d'autres races, d'extrapoler ces données pour les dimensions échographiques des organes abdominaux chez les chiots de grandes races, de morphométrie similaire au Berger de Beauce. L'établissement d'une base de données sur les paramètres normaux des organes (dimensions, aspect échographique) est un travail préliminaire obligatoire pour déterminer et diagnostiquer des modifications pathologiques de ces organes lors d'examen échographiques chez le chiot jusqu'à deux mois d'âge. En effet, chez les chiots, les dimensions des organes peuvent être différentes de ce qui est attendu chez un animal sain. Par exemple, un rein plus gros que la normale peut être un signe de shunt porto-systémique, d'hydronéphrose ou de phénomènes d'hypertrophie compensatoire dans le cas d'une agénésie rénale par exemple, d'où l'importance d'établir des références chez l'animal sain pour détecter de manière précoce les anomalies. Plusieurs chiots ont d'ailleurs été exclus de la population étudiée à cause d'anomalies échographiques.

La réalisation d'examen échographique chez le chiot avant adoption offre ainsi de nouvelles perspectives, en permettant de dépister et de diagnostiquer des affections de façon plus précoce. Nous espérons que cette étude pourra contribuer à rendre plus courante l'échographie chez le chiot via l'établissement de cette première base de données.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agthe, P., A. Caine, B. Posch, et M. Herrtage. 2009. « Ultrasonographic Appearance of Jejunal Lymph Nodes in Dogs without Clinical Signs of Gastrointestinal Disease ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 50 (2): 195-200.
- Baker, T. W., et A. P. Davidson. 2006. « Pediatric Abdominal Ultrasonography ». *Veterinary Clinics: Small Animal Practice* 36 (3): 641-55. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2005.12.008>.
- Banzato, T., C. Milani, E. Zambello, et A. Zotti. 2017. « Normal Ultrasonographic Reference Values for the Gastrointestinal Tract in Developing Puppies ». *Research in Veterinary Science* 115: 371-73. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.07.009>.
- Barbero, A., C. Porcu, A. Spezzigu, S. Succu, M. Dattena, M. Gallus, G. Molle, S. Naitana, A. Gonzalez-Bulnes, et F. Berlinguer. 2018. « Changes in Renal Hemodynamics of Undernourished Fetuses Appear Earlier than IUGR Evidences ». *Journal of Developmental Origins of Health and Disease* 9 (3): 338-43. <https://doi.org/10.1017/S204017441800003X>.
- Barella, G., M. Lodi, L. A. Sabbadin, et S. Faverzani. 2012. « A New Method for Ultrasonographic Measurement of Kidney Size in Healthy Dogs ». *Journal of Ultrasound* 15 (3): 186-91. <https://doi.org/10.1016/j.jus.2012.06.004>.
- Barr, F. J. 1990. « Evaluation of Ultrasound as a Method of Assessing Renal Size in the Dog ». *Journal of Small Animal Practice* 31 (4): 174-79. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1990.tb00762.x>.
- . 1992. « Ultrasonographic Assessment of Liver Size in the Dog ». *Journal of Small Animal Practice* 33 (8): 359-64. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1992.tb01172.x>.
- Barr, F. J., P. E. Holt, et M. C. Gibbs. 1990. « Ultrasonographic measurement of normal renal parameters ». *Journal of Small Animal Practice* 31 (4): 180-84. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1990.tb00764.x>.
- Barrera, R., F. J. Duque, P. Ruiz, et C. Zaragoza. 2009. « Accuracy of ultrasonographic measurements of kidney dog for clinical use ». *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia* 19: 576-83.
- Bauer, R., T. Gedrange, K. Bauer, et B. Walter. 2006. « Intrauterine Growth Restriction Induces Increased Capillary Density and Accelerated Type I Fiber Maturation in Newborn Pig Skeletal Muscles ». *Journal of Perinatal Medicine* 34 (3): 235-42. <https://doi.org/10.1515/JPM.2006.042>.
- Brennan, S., et Y. Kandasamy. 2017. « Ultrasound Imaging of the Renal Parenchyma of Premature Neonates for the Assessment of Renal Growth and Glomerulomegaly ». *Ultrasound in Medicine & Biology* 43 (11): 2546-49. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2017.06.033>.
- Catteau, M. 2014. « Température du chiot en période néonatale et pédiatrique : mesure, variation, intérêt pronostique ». Thèse Doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire de Toulouse.
- Chastant-Maillard, S., C. Guillemot, A. Feugier, C. Mariani, A. Grellet, et H. Mila. 2017. « Reproductive Performance and Pre-Weaning Mortality: Preliminary Analysis of 27,221 Purebred Female Dogs and 204,537 Puppies in France ». *Reproduction in Domestic Animals* 52 (S2): 158-62. <https://doi.org/10.1111/rda.12845>.
- Chevaux, E., A. Sacy, Y Le treut, et G. P. Martineau. 2010. « Intra-uterine growth retardation (IUGR) Morphological and behavioral description. » In , 84:209. Vancouver, Canada.
- CNGOF. 2010. « Retard de Croissance Intra-Uterin (RCIU). Collège National des Gynécologues Obstétriciens Français. » 2010. <http://www.cngof.net/E-book/GO-2016/36-ch29-365-372-9782294715518-premeture.html>.
- Cradic, D. W., K. S. Aulakh, P. Hymel, K. Barnes, J. A. Gines, Nathalie Rademacher, Harmeet K. Aulakh, et Chin-Chi Liu. 2019. « Morphometric Measurements to Predict Meniscal Size in Skeletally Mature Dogs for Meniscal Transplantation ». *Veterinary Surgery* 0 (0). <https://doi.org/10.1111/vsu.13313>.

- Davenport, C. B. 1941. « Post-Natal Development of the Head ». *The Scientific Monthly* 52 (3): 197-202.
- Delden, O. M. van, L. de Wit, F. J. H. Hulsmans, G. J. A. Offerhaus, H. W. Venema, et D. J. Gouma. 1998. « Laparoscopic Ultrasonography of Abdominal Lymph Nodes: Correlation with Pathologic Findings ». *Journal of Ultrasound in Medicine* 17 (1): 21-27. <https://doi.org/10.7863/jum.1998.17.1.21>.
- Di Donato, P., D. Penninck, M. Pietra, M. Cipone, et A. Diana. 2014. « Ultrasonographic Measurement of the Relative Thickness of Intestinal Wall Layers in Clinically Healthy Cats ». *Journal of Feline Medicine and Surgery* 16 (4): 333-39. <https://doi.org/10.1177/1098612X13509080>.
- Elmaz, O., O.A. Aksoy, et S. Dikmen. et2012. « Some morphological characteristics and growth of Kangal Turkish shepherd puppies until the weaning age ». *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 18: 980-86.
- Elmaz, Ozkan, O Aksoy, A Zonturlu, et Serdal Dikmen. 2008. « The determination of growth performance and some morphological characteristics effective on development curves of German Shepherd puppies during the suckling period ». *Polish journal of veterinary sciences* 11: 367-70.
- England, G. C. W. 1996. « Renal and Hepatic Ultrasonography in the Neonatal Dog ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 37 (5): 374-82. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1996.tb01246.x>.
- Ettinger, S. J., E. C. Feldman, et E. Cote. 2017. *Textbook of Veterinary Internal Medicine - EBook*. Elsevier Health Sciences.
- Etuk, E. 2010. « Animals models for studying diabetes mellitus. » *Agriculture and biology journal of North America* 1: 130-34.
- Evan, A., et D. Hay. 1981. « Ultrastructure of the Developing Vascular System in the Puppy Kidney ». *The Anatomical Record* 199 (4): 481-89. <https://doi.org/10.1002/ar.1091990405>.
- Felicioni, F., T. Santos, T. Paula, H. Chiarini-Garcia, et F. Almeida. 2019. « Intrauterine growth restriction: screening and diagnosis using animal models ». *Animal Reproduction* 16: 66-71. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0127>.
- Ferenc, K., P. Pietrzak, M. M. Godlewski, J. Piwowarski, R. Kiliańczyk, P. Guilloteau, et R. Zabielski. 2014. « Intrauterine Growth Retarded Piglet as a Model for Humans--Studies on the Perinatal Development of the Gut Structure and Function ». *Reproductive Biology* 14 (1): 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2014.01.005>.
- Fernandes, M. M. R., C. C. S. Lemos, G. S. Lopes, E. P. Q. Madeira, O. R. Santos, D. Dorigo, et R. Bregman. 2002. « Normal Renal Dimensions in a Specific Population ». *International Brazilian Journal of Urology* 28 (6): 510-15.
- Giabicani, E., A. Pham, F. Brioude, D. Mitanchez, et I. Netchine. 2018. « Diagnosis and Management of Postnatal Fetal Growth Restriction ». *Best Practice & Research. Clinical Endocrinology & Metabolism* 32 (4): 523-34. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2018.03.013>.
- Gil, E. M. U., D. A. A. Garcia, A. T. Giannico, et T. R. Froes. 2018. « Early Results on Canine Fetal Kidney Development: Ultrasonographic Evaluation and Value in Prediction of Delivery Time ». *Theriogenology* 107: 180-87. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.11.015>.
- Gill, M. 2001. « Perinatal and late neonatal mortality in the dog ». *PhD thesis, University of Sidney, Australia*.
- Gladwin, N. E., D. G. Penninck, et C. R. L. Webster. 2014. « Ultrasonographic evaluation of the thickness of the wall layers in the intestinal tract of dogs ». *American Journal of Veterinary Research* 75 (4): 349-53. <https://doi.org/10.2460/ajvr.75.4.349>.
- Grellet, A., S. Chastant-Maillard, C. Robin, A. Feugier, C. Boogaerts, C. Boucraut-Baralon, D. Grandjean, et Bruno Polack. 2014. « Risk Factors of Weaning Diarrhea in Puppies Housed in Breeding Kennels ». *Preventive Veterinary Medicine* 117 (1): 260-65. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.07.016>.
- Groppetti, D., G. Ravasio, V. Bronzo, et A. Pecile. 2015. « The Role of Birth Weight on Litter Size and Mortality within 24h of Life in Purebred Dogs: What Aspects Are Involved? » *Animal Reproduction Science* 163: 112-19. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.10.005>.

- Grundy, S. A. 2006. « Clinically Relevant Physiology of the Neonate ». *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice* 36 (3): 443-59. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2005.12.002>.
- Hales, J., V. A. Moustsen, M. B. F. Nielsen, et C. F. Hansen. 2013. « Individual Physical Characteristics of Neonatal Piglets Affect Preweaning Survival of Piglets Born in a Noncrated System ». *Journal of Animal Science* 91 (10): 4991-5003. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5740>.
- Han, B. K., et D. S. Babcock. 1985. « Sonographic Measurements and Appearance of Normal Kidneys in Children ». *AJR. American Journal of Roentgenology* 145 (3): 611-16. <https://doi.org/10.2214/ajr.145.3.611>.
- Hay, D. A., et A. P. Evan. 1979. « Maturation of the Proximal Tubule in the Puppy Kidney: A Comparison to the Adult ». *The Anatomical Record* 195 (2): 273-99. <https://doi.org/10.1002/ar.1091950204>.
- Hoffmann, K. L., A. K. Wood, et P. H. McCarthy. 2000. « Ultrasonography of the Equine Neonatal Kidney ». *Equine Veterinary Journal* 32 (2): 109-13.
- Hoskins, J. D. 1995. *Veterinary Pediatrics: Dogs and Cats from Birth to Six Months*. Philadelphia, USA: W.B. Saunders ed.
- Hricak, H., et R. Lieto. 1983. « Sonographic determination of renal volume. » *Radiology* 148 (1): 311-12. <https://doi.org/10.1148/radiology.148.1.6344137>.
- Hricak, H., T. L. Slovis, et P. W. Callen. 1983. « Neonatal Kidneys: Sonographic Anatomic Correlation ». *Radiology* 147 (3): 699-702. <https://doi.org/10.1148/radiology.147.3.6844606>.
- Indrebø, A., C. Trangerud, et Lars Moe. 2007. « Canine neonatal mortality in four large breeds ». *Acta Veterinaria Scandinavica* 49: Supplément 2. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-S1-S2>.
- Ismail, H., et Y. L. Chang. 2012. « Sequelae of Fetal Growth Restriction ». *Journal of Medical Ultrasound* 20 (4): 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.jmu.2012.10.005>.
- Jakovljevic, S., W. J. Rivers, R. Chun, V. L. King, et C. M. Han. 1999. « Results of Renal Ultrasonography Performed before and during Administration of Saline (0.9% NaCl) Solution to Induce Diuresis in Dogs without Evidence of Renal Disease ». *American Journal of Veterinary Research* 60 (4): 405-9.
- Kahramaner, Z., A. Erdemir, B. Arik, G. Bilgili, M. Tekin, et Y. Genc. 2015. « Reference Ranges of Liver and Spleen Dimensions in Term Infants: Sonographic Measurements ». *Journal of Medical Ultrasonics (2001)* 42 (1): 77-81. <https://doi.org/10.1007/s10396-014-0578-0>.
- Kim, J. H., M. J. Kim, S. H. Lim, J. Kim, et M. J. Lee. 2013. « Length and Volume of Morphologically Normal Kidneys in Korean Children: Ultrasound Measurement and Estimation Using Body Size ». *Korean Journal of Radiology* 14 (4): 677-82. <https://doi.org/10.3348/kjr.2013.14.4.677>.
- Konde, L. J., R. H. Wrigley, R. D. Park, et J. L. Lebel. 1984. « Ultrasonographic Anatomy of the Normal Canine Kidney ». *Veterinary Radiology* 25 (4): 173-78. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1984.tb02138.x>.
- Konuş, O. L., A. Ozdemir, A. Akkaya, G. Erbaş, H. Celik, et S. Işık. 1998. « Normal Liver, Spleen, and Kidney Dimensions in Neonates, Infants, and Children: Evaluation with Sonography ». *American Journal of Roentgenology* 171 (6): 1693-98. <https://doi.org/10.2214/ajr.171.6.9843315>.
- Kramer, M. S. 1987. « Determinants of low birth weight: methodological assessment and meta-analysis. » *Bulletin of the World Health Organization* 65 (5): 663-737.
- Krol, L., et R. O'Brien. 2012. « Ultrasonographic Assessment of Abdominal Lymph Nodes in Puppies ». *Veterinary Radiology & Ultrasound: The Official Journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association* 53 (4): 455-58. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2012.01932.x>.
- Larson, M. M., et D. S. Biller. 2009. « Ultrasound of the Gastrointestinal Tract ». *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice* 39 (4): 747-59. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2009.04.010>.

- Lobacz, M. A., M. Sullivan, D. Mellor, G. Hammond, J. Labruyère, et R. Dennis. 2012. « Effect of Breed, Age, Weight and Gender on Radiographic Renal Size in the Dog ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 53 (4): 437-41. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2012.01937.x>.
- Lynegaard, J., C. Hansen, A. R. Kristensen, et C. Amdi. 2019. « Body composition and organ development of intra-uterine growth restricted pigs at weaning ». *animal*. <https://doi.org/10.1017/S175173111900171X>.
- Mareschal, A., M. A. d'Anjou, M. Moreau, K. Alexander, et G. Beauregard. 2007. « Ultrasonographic Measurement of Kidney-to-Aorta Ratio as a Method of Estimating Renal Size in Dogs ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 48 (5): 434-38.
- Miettinen, E. L., et R. M. Kliegman. 1983. « Fetal and Neonatal Responses to Extended Maternal Canine Starvation. II. Fetal and Neonatal Liver Metabolism ». *Pediatric Research* 17 (8): 639-44. <https://doi.org/10.1203/00006450-198308000-00007>.
- Mila, H., A. Grellet, A. Feugier, et S. Chastant-Maillard. 2015. « Differential Impact of Birth Weight and Early Growth on Neonatal Mortality in Puppies ». *Journal of Animal Science* 93 (9): 4436-42. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8971>.
- Mohtasib, R. S., K. M. Alshamiri, A. A. Jobeir, F. M. A. Saidi, A. M. Masawi, L. S. Alabdulaziz, et F. Z. B. Hussain. 2019. « Sonographic Measurements for Kidney Length in Normal Saudi Children: Correlation with Other Body Parameters ». *Annals of Saudi Medicine* 39 (3): 143-54. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2019.143>.
- Mugnier, A., H. Mila, F. Guiraud, J. Brévaux, M. Lecarpentier, C. Martinez, C. Mariani, et al. 2019. « Birth Weight as a Risk Factor for Neonatal Mortality: Breed-Specific Approach to Identify at-Risk Puppies ». *Preventive Veterinary Medicine* 171. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104746>.
- Neugarten, J., B. Kasiske, S. R. Silbiger, et J. R. Nyengaard. 2002. « Effects of Sex on Renal Structure ». *Nephron* 90 (2): 139-44. <https://doi.org/10.1159/000049033>.
- Nielen, A. L., L. L. Janss, et B. W. Knol. 2001. « Heritability Estimations for Diseases, Coat Color, Body Weight, and Height in a Birth Cohort of Boxers ». *American Journal of Veterinary Research* 62 (8): 1198-1206.
- Nyland, T. G., et J. S. Mattoon. 2002. *Small Animal Diagnostic Ultrasound*. Davis, USA: Elsevier Health Sciences.
- Pelizzo, G., M. Guazzotti, C. Klersy, G. Nakib, F. Costanzo, E. Andreatta, G. Bassotti, et V. Calcaterra. 2018. « Spleen Size Evaluation in Children: Time to Define Splenomegaly for Pediatric Surgeons and Pediatricians ». *PloS One* 13 (8): e0202741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202741>.
- Peterson, J, H. G. Taylor, N. Minich, N. Klein, et M. Hack. 2006. « Subnormal Head Circumference in Very Low Birth Weight Children: Neonatal Correlates and School-Age Consequences ». *Early Human Development* 82 (5): 325-34. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2005.09.014>.
- Peterson, M. E., et M. Kutzler. 2010. *Small Animal Pediatrics - E-Book: The First 12 Months of Life*. Corvallis, Oregon, USA: Elsevier Health Sciences.
- Potkay, S., et J. D. Bacher. 1977. « Morbidity and Mortality in a Closed Foxhound Breeding Colony ». *Laboratory Animal Science* 27 (1): 78-84.
- Prittie, J. 2004. « Canine Parvoviral Enteritis: A Review of Diagnosis, Management, and Prevention ». *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* 14 (3): 167-76. <https://doi.org/10.1111/j.1534-6935.2004.04020.x>.
- Pugh, C. R. 1994. « Ultrasonographic Examination of Abdominal Lymph Nodes in the Dog ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 35 (2): 110-15. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1994.tb00197.x>.
- Pugh, C. R., C. G. Schelling, R. E. Moreau, et D. Golden. 1994. « Ultrasound Corner: Iatrogenic Renal Pyelectasia in the Dog ». *Veterinary Radiology and Ultrasound* 35 (1): 50-51.
- Pugliese, M., A. Pietra, L. Luigi, F. macrì, A. Palumbo Piccionello, et M. Majò. 2016. « Ultrasonographic measurements of abdominal lymph nodes in growing puppies ». *Veterinárni Medicína* 61: 389-93. <https://doi.org/10.17221/2016/2015-VETMED>.

- R Development Core Team. 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0, issued 2005. <http://www.R-project.org>.
- Rice, J. B., K. Winters, S. Krakowka, et R. Olsen. 1982. « Comparison of Systemic and Local Immunity in Dogs with Canine Parvovirus Gastroenteritis ». *Infection and Immunity* 38 (3): 1003-9.
- Rogers, K. S., M. Landis, et C. L. Barton. 1993. « Canine and Feline Lymph Nodes. I. Anatomy and Function ». *The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian (USA)* 15: 397-409.
- Sacy, A., Y. Treut, P. Schmidely, et E. Chevaux. 2010. « Caractérisation de l'immaturité des porcelets à la naissance ».
- Safak, A. A., E. Simsek, et T. Bahcebasi. 2005. « Sonographic Assessment of the Normal Limits and Percentile Curves of Liver, Spleen, and Kidney Dimensions in Healthy School-Aged Children ». *Journal of Ultrasound in Medicine* 24 (10): 1359-64. <https://doi.org/10.7863/jum.2005.24.10.1359>.
- Scott, J. E., E. W. Hunter, R. E. Lee, et J. N. Matthews. 1990. « Ultrasound measurement of renal size in newborn infants. » *Archives of Disease in Childhood* 65 (4 Special issue): 361-64.
- Sharma, D., S. Shastri, N. Farahbakhsh, et P. Sharma. 2016. « Intrauterine Growth Restriction - Part 1 ». *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* 29 (24): 3977-87. <https://doi.org/10.3109/14767058.2016.1152249>.
- Soyupak, S. K., N. Narli, H. Yapicioğlu, M. Satar, et E. H. Aksungur. 2002. « Sonographic Measurements of the Liver, Spleen and Kidney Dimensions in the Healthy Term and Preterm Newborns ». *European Journal of Radiology* 43 (1): 73-78.
- Stander, N., W. M. Wagner, A. Goddard, et R. M. Kirberger. 2010a. « Ultrasonographic Appearance of Canine Parvoviral Enteritis in Puppies ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 51 (1): 69-74. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2009.01625.x>.
- . 2010b. « Normal Canine Pediatric Gastrointestinal Ultrasonography ». *Veterinary Radiology & Ultrasound* 51 (1): 75-78.
- Yuan, T. L., Y. H. Zhu, M. Shi, T. T. Li, N. Li, Guo-yao Wu, Fuller W. Bazer, Jian-jun Zang, Feng-lai Wang, et Jun-jun Wang. 2015. « Within-Litter Variation in Birth Weight: Impact of Nutritional Status in the Sow ». *Journal of Zhejiang University. Science. B* 16 (6): 417. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1500010>.
- Zoetis, T., et M. E. Hurtt. 2003. « Species Comparison of Anatomical and Functional Renal Development ». *Birth Defects Research Part B: Developmental and Reproductive Toxicology* 68 (2): 111-20. <https://doi.org/10.1002/bdrb.10013>.
- Zweyer, M. 2014. « Embryology of the Kidney ». In *Radiological Imaging of the Kidney*, édité par E. Quaia, 3-15. Medical Radiology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-54047-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54047-9_1).

## ANNEXES

### Annexe 1 : Organisation des examens échographiques



Annexe 2 : Tableau d'évaluation individuelle du chiot

ID CHIENNE		ID CHIOT				Date de naissance	
Collier						F <input type="checkbox"/>	M <input type="checkbox"/>
	<b>J2</b>	<b>J7</b>	<b>J14</b>	<b>J21</b>	<b>J35</b>		<b>J56</b>
Manipulateur							
Date + J réel							
Poids							
Circonférence de la tête							
Longueur Axis-base queue (cm)							
Périmètre thoracique (juste derrière coude, cm)							
<b>FOIE</b>							
Surface de la coupe (cm <sup>2</sup> )							
<b>RATE</b>							
Largeur au niveau du pédicule vasculaire (mm)							
<b>REIN gauche</b>							
Echogénicité /rate (+,-,=)							
Coupe sagittale	Hauteur						
	Longueur						
Coupe transversale	Hauteur						
	Longueur						
<b>REIN droit</b>							
Echogénicité /foie (+,-,=)							
Coupe sagittale	Hauteur						
	Longueur						
Coupe transversale	Hauteur						
	Longueur						
<b>Digestif</b>							
Epaisseur de la muqueuse	Coupe transversale (mm)						
	Coupe longitudinale (mm)						

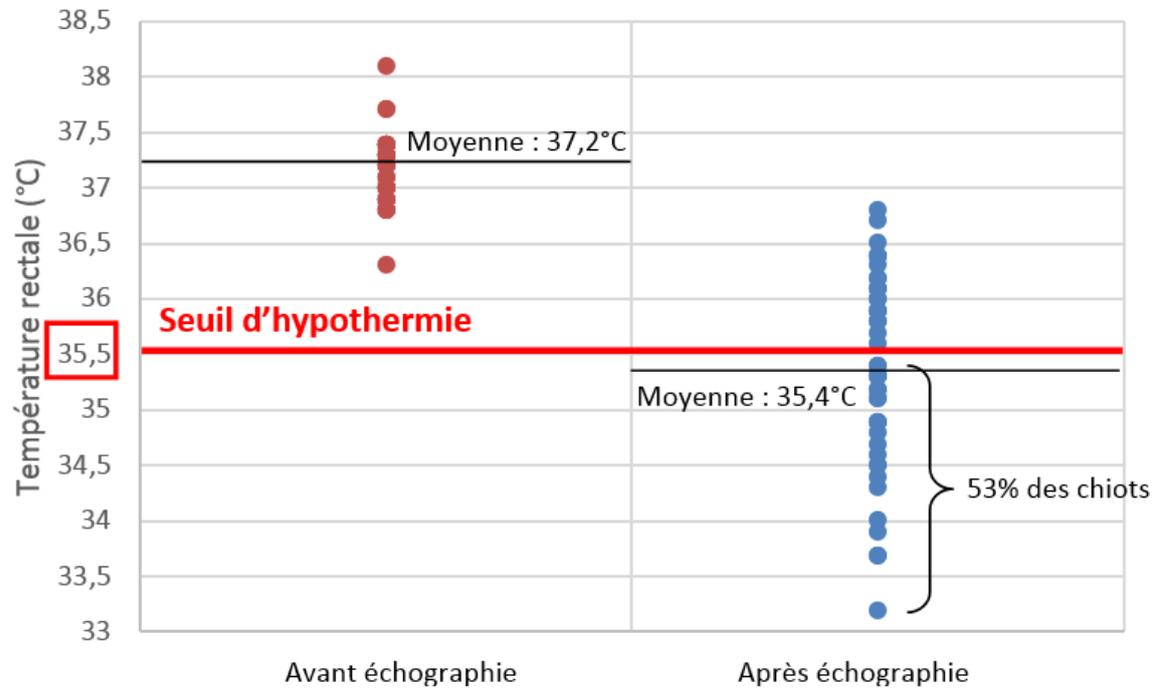
Annexe 3 : Tableau récapitulatif de la conduite d'élevage

	Alimentation	Vaccination	Vermifugation	Parasites externes
<b>Adultes</b>	Croquettes Royal Canin Maxi sensible	CHPL PiBb (PNEUMODOG <sup>ND</sup> ou KC <sup>ND</sup> )	DRONTAL <sup>ND</sup> /MILBEMAX <sup>ND</sup> 3x/an	Collier BEAPHAR <sup>ND</sup> +BUTOX <sup>ND</sup> + traitement environnement 1x/mois (pulvérisations de SANITERPEN <sup>®</sup> DK+ ou SANITERPEN <sup>®</sup> Ecochoc)
<b>Chiennes gestantes (1<sup>e</sup> mois)</b>	Croquettes Royal Canin Maxi Sensible		MILBEMAX <sup>ND</sup> tous les 15j dès le diagnostic de gestation positif	Traitement environnement 1x/mois
<b>Chiennes gestantes (2<sup>e</sup> mois)</b>	Croquettes Royal Canin puppy + viande crue (1-1,5 kg/CN/j)		MILBEMAX <sup>ND</sup> tous les 15j	Traitement environnement 1x/mois
<b>Femelles allaitantes</b>	Croquettes Royal Canin puppy + viande crue (1-1,5 kg/CN/j)		MILBEMAX <sup>ND</sup> tous les 15j	Traitement environnement 1x/mois
<b>Chiots</b>	Croquettes Royal Canin puppy trempées + viande ce à partir de 15j	- à l'âge de 5 semaines, valence P (VANGUARD CPV <sup>ND</sup> ) - à l'âge de 6 semaines, P (VANGUARD CPV <sup>ND</sup> ) + PiBb (PNEUMODOG <sup>ND</sup> ) + identification - à l'âge de 7 semaines, P (VANGUARD CPV <sup>ND</sup> ) - à l'âge de 8 semaines, CHPPiL (VANGUARD 7 <sup>ND</sup> ) + PiBb (PNEUMODOG <sup>ND</sup> ) - à l'âge de 12 semaines, CHPPiL (VANGUARD 7 <sup>ND</sup> )	A l'âge de 10j, tous les 15j DRONTAL <sup>ND</sup> /PANACUR <sup>ND</sup> /VALBAZEN <sup>ND</sup>	Traitement environnement 1x/mois

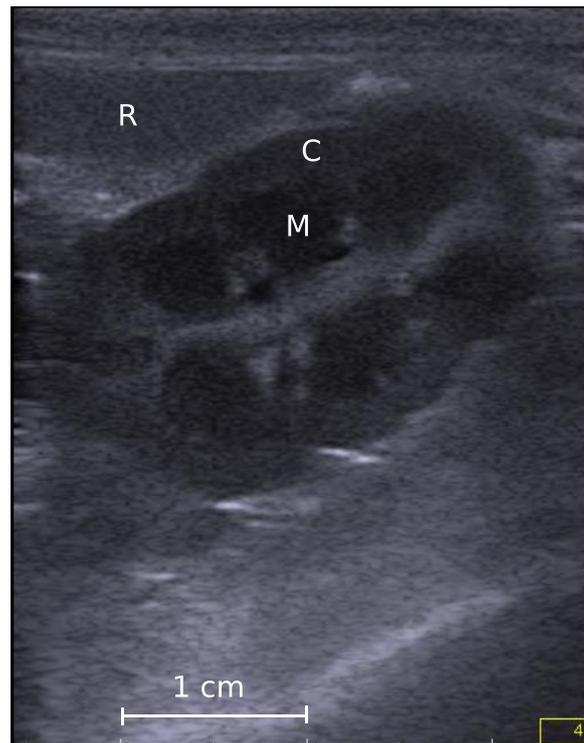
Annexe 4 : Tableau récapitulatif de l'évolution sensorielle et qualitative des chiots durant les deux premiers mois de vie

J2	J7	J14	J21	J35	J56
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux fermés, sourd, pas d'interaction</li> <li>- Crottes molles, collantes et claires (alimentation lactée exclusive)</li> <li>- Dilatation pyélique fréquente</li> <li>- Différenciation cortex interne et externe visible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux fermés</li> <li>- Dilatation pyélique fréquente</li> <li>- Différenciation cortex interne et externe visible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux quasi ouverts</li> <li>- Posture debout quasi acquise</li> <li>- Crottes dures et moulées, marrons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux ouverts</li> <li>- Posture debout</li> <li>- Crottes moulées, marrons</li> <li>- Début rate léopardée chez certains chiots</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux ouverts</li> <li>- Posture debout</li> <li>- Début de visualisation de la structure en couches de la paroi de l'intestin grêle</li> <li>- Rate léopardée chez la plupart des chiots</li> <li>- Nœuds lymphatiques +++ (réponse vaccinale ?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeux ouverts</li> <li>- Posture debout</li> <li>- Visualisation des couches de la paroi de l'intestin grêle</li> <li>- Rate léopardée</li> <li>- Nœuds lymphatiques +++</li> </ul>

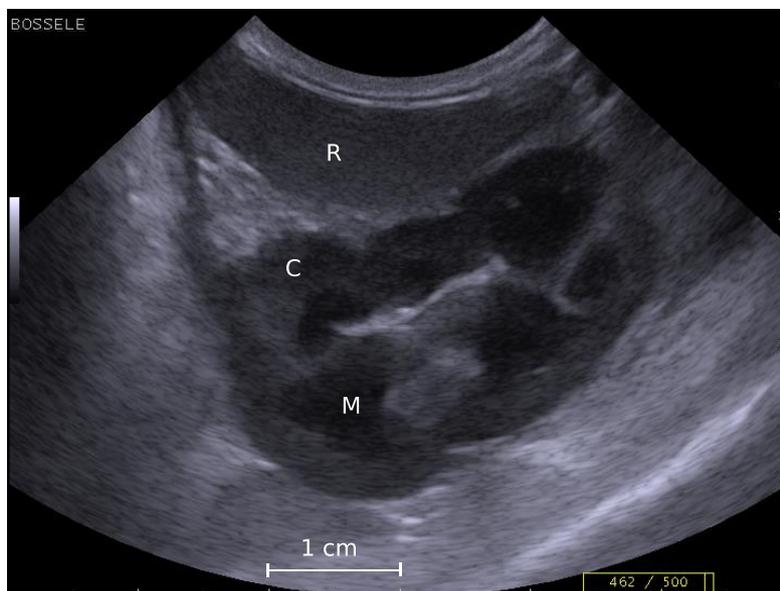
Annexe 5 : Suivi de température rectale chez les chiots de 2 jours d'âge avant et après examen échographique



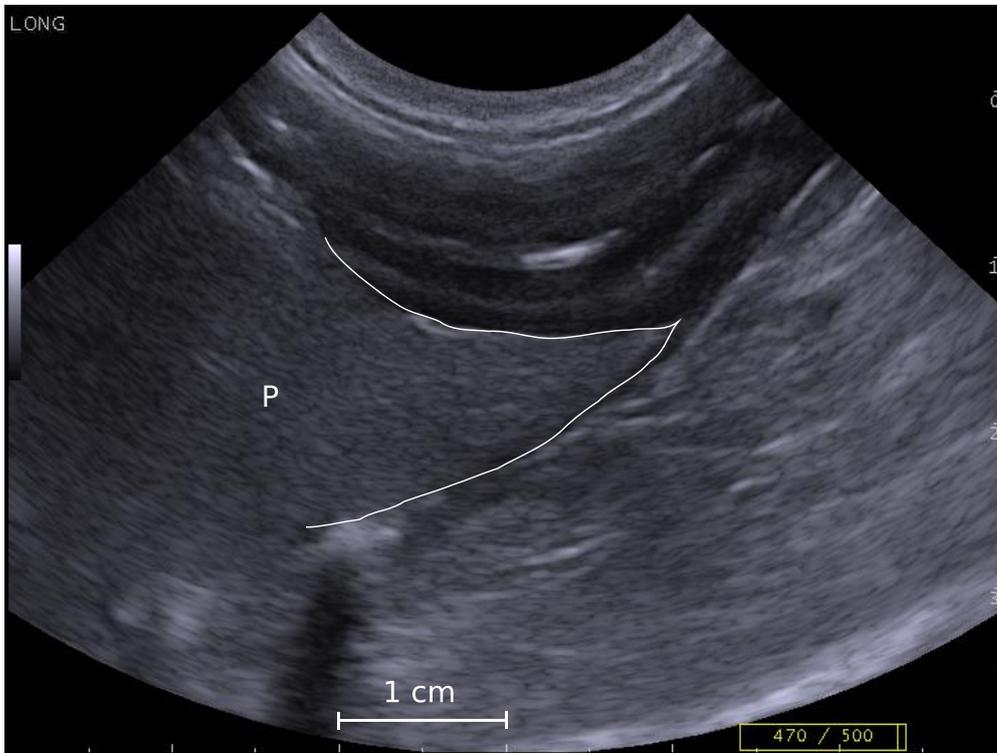
Annexe 6 : Images échographiques des anomalies observées lors des examens échographiques



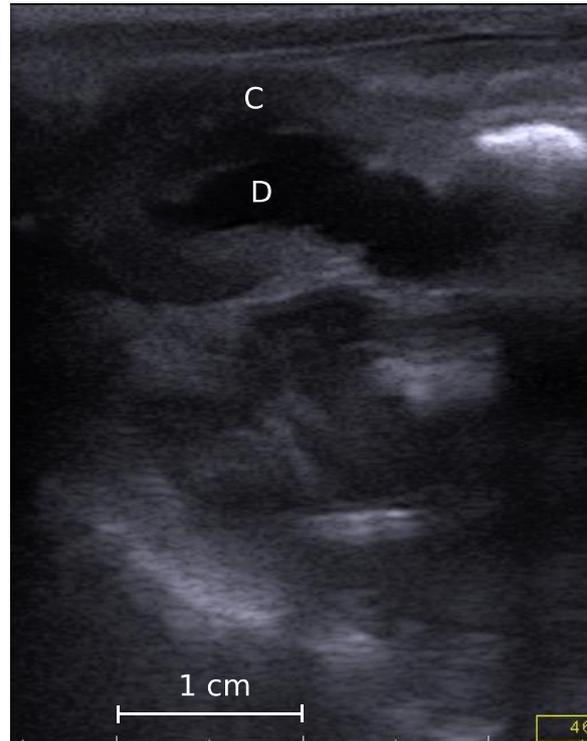
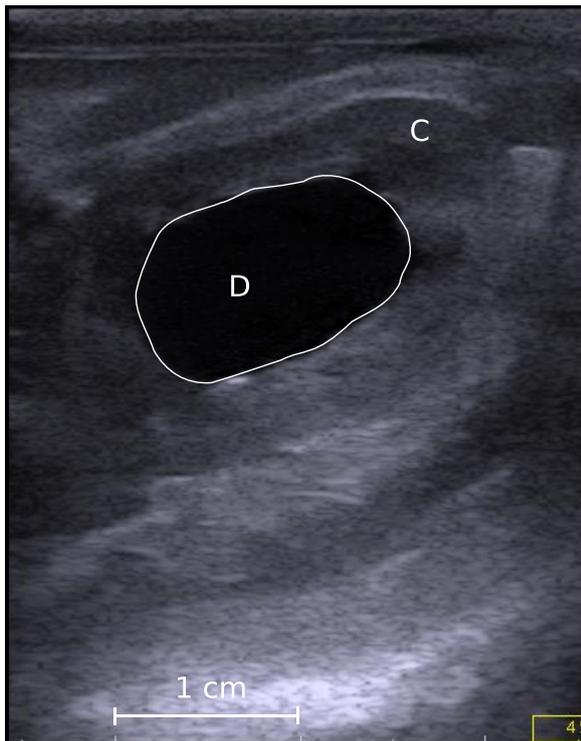
*Figure A1 : Forme bosselée du rein gauche chez un chiot âgé de 8 jours. C : cortex rénal, M : medulla rénale, R : parenchyme splénique.*



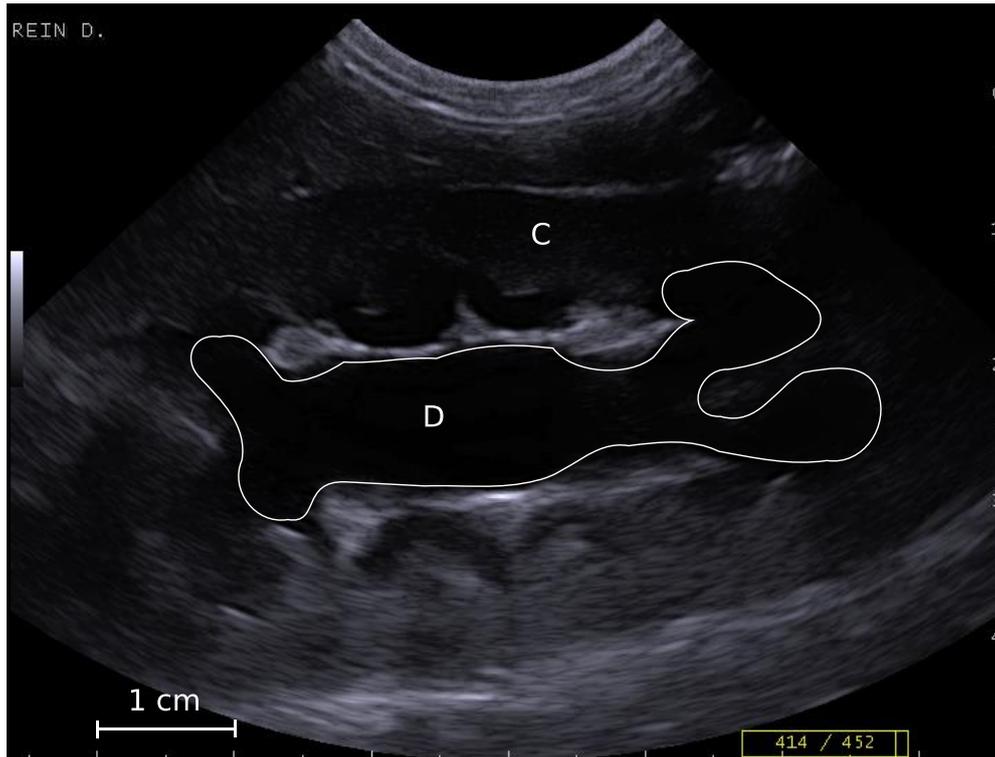
*Figure A2 : Forme bosselée du rein gauche chez un autre chiot âgé de 20 jours. C : cortex rénal, M : medulla rénale, R : parenchyme splénique.*



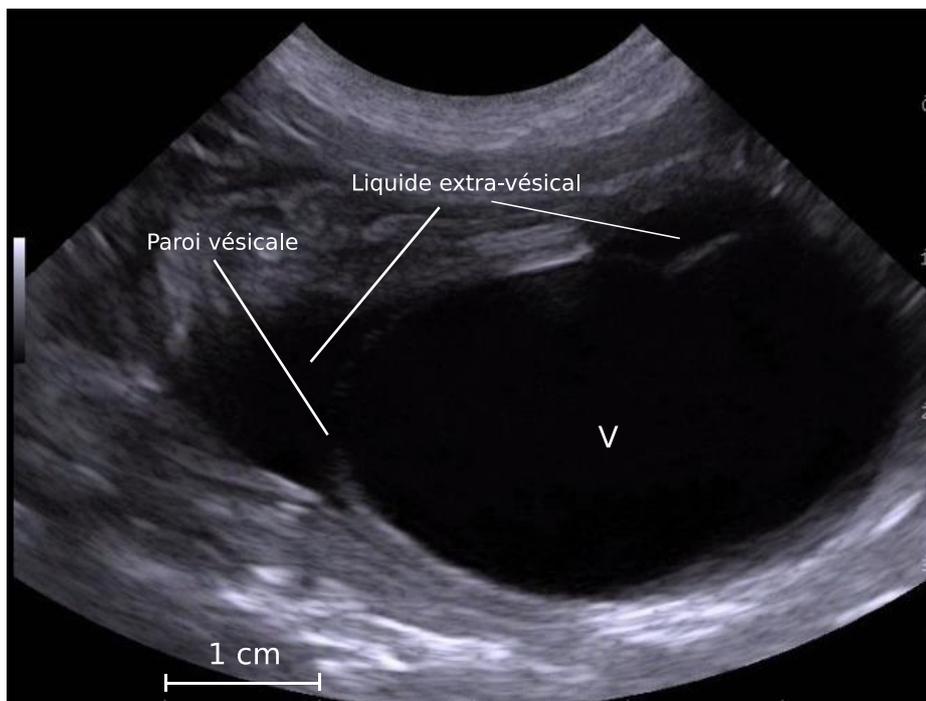
*Figure A3 : Agénésie du rein droit permettant de visualiser le lobe hépatique latéral droit, masqué par le rein droit en temps normal. Image prise sur un chiot âgé de 20 jours. P : parenchyme hépatique.*



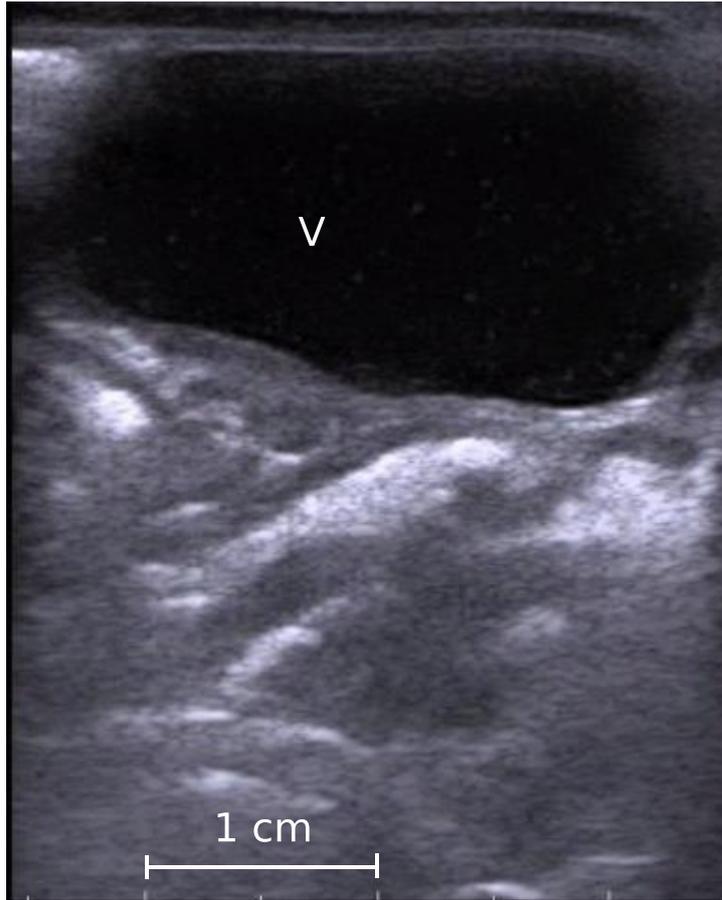
*Figure A4 : Hydronéphrose d'un rein gauche en coupe sagittale (à gauche) et en coupe transversale (à droite) chez un chiot âgé de 2 jours. C : cortex rénal, D : dilatation de la cavité pyélique et de l'uretère.*



*Figure A5 : Dilatation pyélique majeure du rein droit chez un chiot âgé de 20 jours. C : cortex rénal, D : dilatation de la cavité pyélique.*



*Figure A6 : Présence de liquide extra-vésical, au niveau du lieu d'abouchement des uretères chez le même chiot que celui dont le rein droit est présenté en figure A5, âgé de 20 jours. V : vessie.*



*Figure A6 : Sablose vésicale chez un chiot âgé de 20 jours. V : vessie.*

Annexe 7 : Tableau récapitulatif des significativités (par ligne)

Les valeurs d'une même ligne portant des lettres différentes sont significativement différentes ( $p < 0,05$ ).

RD : rein droit

RG : rein gauche

- Effet de l'âge

Paramètre	J2	J7	J14	J21	J35	J56
Poids (kg)	a	b	c	d	e	f
Circonférence de la tête (cm)	a	b	c	d	e	f
Circonférence du thorax (cm)	a	b	c	d	e	f
Longueur os occipital-croupe (cm)	a	b	c	d	e	f
Volume corporel du chiot (cm <sup>3</sup> )	a	b	c	d	e	f
Surface coupe du lobe hépatique (cm <sup>2</sup> )	a	b	c	d	e	f
Ratio surface coupe lobe hépatique/poids (cm <sup>2</sup> /kg)	a	b	c	d	e	f
Longueur RG (cm)	a	b	c	d	e	f
Longueur RD (cm)	a	b	c	d	e	f
Différence longueur RD et RG (cm)	a	a	a	a	a	a
Ratio longueur RG/longueur os occipital-croupe	ab	a	b	b	c	d
Comparaison volume RG et RD (cm <sup>3</sup> )	a	b	c	d	e	f
Volume rénal total (cm <sup>3</sup> )	a	b	c	d	e	f
Différence volume RD et RG	a	a	a	a	a	a
Ratio volume rénal total/poids	a	ab	bc	c	d	e
Ratio volume rénal total/volume corporel du chiot	a	a	b	b	c	d
Ratio volume RG/ volume corporel du chiot	a	ab	bc	c	d	e
Epaisseur de la rate (mm)	a	b	c	d	e	f
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe transversale (mm)	a	b	bc	cd	d	e
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe longitudinale (mm)	a	ab	ab	b	c	d

- Effet du poids de naissance

L'effet du poids de naissance est testé sur chacun des facteurs listés dans la colonne de gauche.

\*\*\* :  $p < 0,001$

\*\* :  $0,001 < p < 0,01$

\* :  $0,01 < p < 0,05$

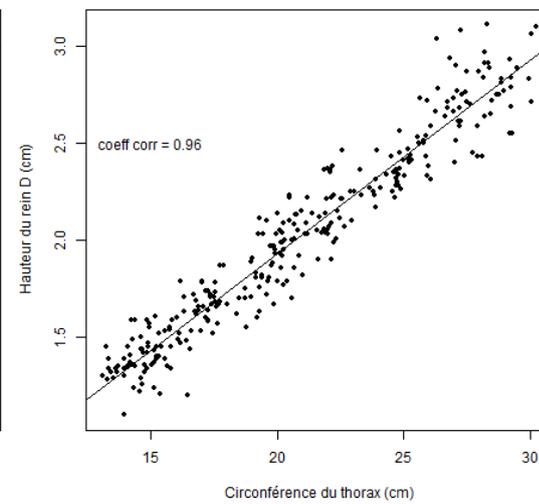
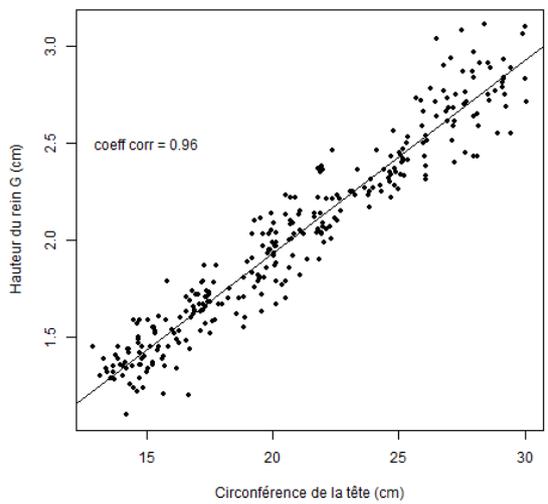
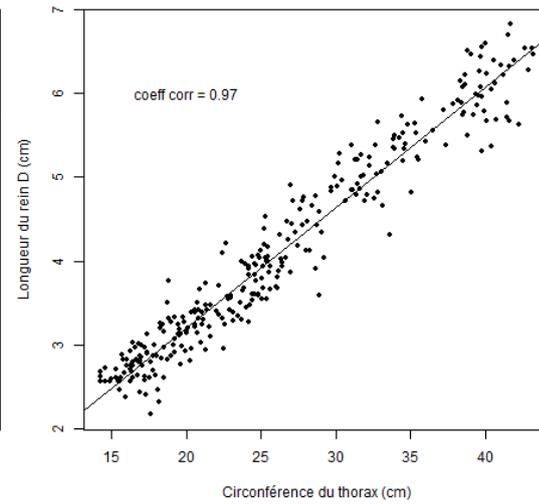
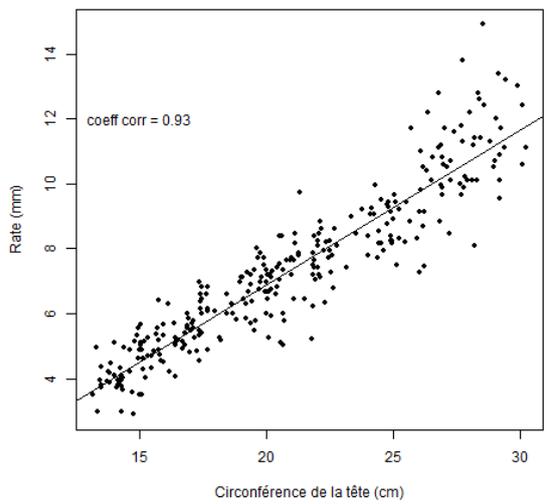
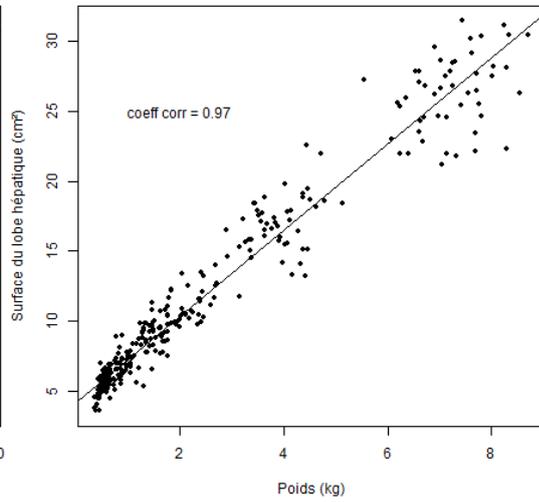
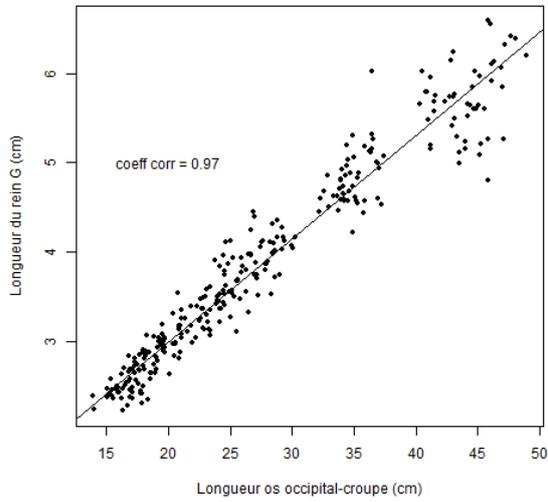
ns (non significatif) :  $p > 0,05$

Paramètre	J2	J7	J14	J21	J35	J56
Poids (kg)	***	**	**	**	***	*
Circonférence de la tête (cm)	***	**	**	**	***	ns
Circonférence du thorax (cm)	***	**	**	**	**	ns
Longueur os occipital-croupe (cm)	**	***	*	***	***	ns
Volume corporel du chiot (cm <sup>3</sup> )	***	***	*	**	**	ns
Ratio circonférence de la tête/poids (cm/kg)	***	**	**	**	***	*
Surface de la coupe du lobe hépatique (cm <sup>2</sup> )	***	*	ns	ns	ns	ns
Ratio surface de la coupe du lobe hépatique/poids (cm <sup>2</sup> /kg)	ns	ns	*	**	**	ns
Ratio circonférence de la tête/surface du lobe hépatique (cm/cm <sup>3</sup> )	***	ns	ns	ns	ns	ns
Longueur RG (cm)	*	*	ns	**	*	ns
Longueur RD (cm)	ns	ns	ns	ns	**	ns
Ratio longueur RG/longueur os occipital-croupe	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Volume RG (cm <sup>3</sup> )	***	*	ns	*	**	ns
Volume RD (cm <sup>3</sup> )	**	*	ns	**	**	ns
Volume rénal total (cm <sup>3</sup> )	***	**	ns	**	**	ns
Ratio volume rénal total/poids	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio volume rénal total/volume corporel du chiot	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio volume RG/ volume corporel du chiot	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la rate (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe transversale (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe longitudinale (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns

- Effet du sexe

Paramètre	J2	J7	J14	J21	J35	J56
Poids (kg)	ns	ns	ns	ns	*	***
Circonférence de la tête (cm)	ns	ns	ns	ns	***	***
Circonférence du thorax (cm)	ns	ns	ns	ns	**	***
Longueur os occipital-croupe (cm)	ns	ns	ns	ns	*	**
Volume corporel du chiot (cm <sup>3</sup> )	ns	ns	ns	ns	***	**
Surface de la coupe du lobe hépatique (cm <sup>2</sup> )	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio surface coupe lobe hépatique/poids (cm <sup>2</sup> /kg)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Longueur RG (cm)	ns	ns	**	*	**	*
Longueur RD (cm)	ns	ns	ns	ns	*	ns
Ratio longueur RG/longueur os occipital-croupe	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Volume RG (cm <sup>3</sup> )	*	ns	ns	ns	*	ns
Volume RD (cm <sup>3</sup> )	ns	ns	ns	ns	*	*
Volume rénal total (cm <sup>3</sup> )	ns	ns	ns	ns	*	*
Ratio volume rénal total/poids	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio volume rénal total/volume corporel du chiot	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio volume RG/ volume corporel du chiot	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la rate (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe transversale (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Epaisseur de la muqueuse intestinale en coupe longitudinale (mm)	*	ns	ns	ns	ns	ns

Annexe 8 : Relation entre les dimensions échographiques des organes et les paramètres morphométriques (nuages de points, droites de régression linéaire et coefficients de régression associés)



*Annexe 9 : Valeurs usuelles pour les paramètres de morphométrie externe*

Individus			Circonférence de la tête (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	14,4	0,7	<b>13,3</b>	<b>15,7</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	16,5	0,9	<b>15,0</b>	<b>17,8</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	19,1	1,0	<b>17,5</b>	<b>20,5</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	21,4	1,0	<b>20,0</b>	<b>22,8</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	25,1	0,9	<b>24,0</b>	<b>26,9</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	28,1	1,1	<b>26,5</b>	<b>30,0</b>
Individus			Circonférence du thorax (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	16,4	1,1	<b>14,5</b>	<b>18,0</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	19,1	1,3	<b>17,0</b>	<b>21,0</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	22,5	1,4	<b>20,5</b>	<b>24,5</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	26,5	1,5	<b>24,5</b>	<b>29,0</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	32,7	1,8	<b>30,0</b>	<b>35,5</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	39,8	1,8	<b>36,7</b>	<b>42,8</b>
Individus			Longueur os-occipital-croupe (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	16,7	1,1	<b>15,0</b>	<b>18,5</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	19,3	1,1	<b>17,7</b>	<b>21,0</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	23,0	1,2	<b>21,0</b>	<b>24,5</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	27,2	1,9	<b>24,5</b>	<b>30,0</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	35,0	1,3	<b>33,2</b>	<b>37,0</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	44,1	2,2	<b>41,0</b>	<b>47,3</b>

*Annexe 10 : Valeurs usuelles pour le rein*

Individus			Longueur du rein gauche en coupe sagittale (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	2,52	0,16	<b>2,30</b>	<b>2,82</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	2,90	0,20	<b>2,60</b>	<b>3,18</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	3,36	0,24	<b>3,0</b>	<b>3,78</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	3,89	0,32	<b>3,36</b>	<b>4,40</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	4,83	0,32	<b>4,48</b>	<b>5,30</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	5,71	0,42	<b>5,10</b>	<b>6,40</b>
Individus			Volume rein gauche (cm <sup>3</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	2,17	0,49	<b>1,60</b>	<b>2,86</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	3,29	0,62	<b>2,56</b>	<b>4,41</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	4,90	0,88	<b>3,53</b>	<b>6,36</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	7,31	1,26	<b>5,49</b>	<b>9,65</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	12,65	2,57	<b>9,85</b>	<b>17,18</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	20,86	3,93	<b>16,00</b>	<b>27,12</b>
Individus			Longueur du rein droit en coupe sagittale (cm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	2,66	0,17	<b>2,39</b>	<b>2,95</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	3,08	0,19	<b>2,81</b>	<b>3,38</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	3,51	0,28	<b>3,21</b>	<b>3,99</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	4,11	0,36	<b>3,59</b>	<b>4,71</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	5,14	0,31	<b>4,72</b>	<b>5,63</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	6,03	0,39	<b>5,37</b>	<b>6,57</b>
Individus			Volume rein droit (cm <sup>3</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	2,17	0,36	<b>1,72</b>	<b>2,84</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	3,15	0,60	<b>2,24</b>	<b>4,11</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	4,87	1,06	<b>3,66</b>	<b>6,57</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	7,55	1,68	<b>5,42</b>	<b>10,60</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	12,57	2,01	<b>10,08</b>	<b>16,24</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	21,26	4,27	<b>15,73</b>	<b>28,34</b>

*Annexe 11 : Valeurs usuelles pour le foie et la rate*

Individus			Surface de la coupe du lobe hépatique médial gauche (cm <sup>2</sup> )			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	5,27	0,79	<b>3,82</b>	<b>6,40</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	6,48	0,89	<b>5,26</b>	<b>7,96</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	8,26	1,34	<b>6,32</b>	<b>9,88</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	10,55	1,76	<b>7,89</b>	<b>13,44</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	16,84	2,11	<b>13,50</b>	<b>19,71</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	26,13	2,94	<b>21,89</b>	<b>30,45</b>
Individus			Epaisseur de la rate (mm)			
Catégorie de poids (kg)	Nombre de chiots	Age (jours)	Moyenne	Ecart-type	Valeurs usuelles	
					5 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>[0,3-0,6]</b>	48	2 et 7 j	4,2	0,6	<b>3,1</b>	<b>5,1</b>
<b>]0,6-1]</b>	49	2, 7 et 14 j	5,3	0,6	<b>4,5</b>	<b>6,3</b>
<b>]1-1,5]</b>	45	7, 14 et 21 j	6,5	0,7	<b>5,3</b>	<b>7,7</b>
<b>]1,5-3]</b>	61	14, 21 et 35 j	7,5	0,8	<b>6,0</b>	<b>8,6</b>
<b>]3-5]</b>	47	35 j	9,0	1,0	<b>7,5</b>	<b>10,7</b>
<b>]5-9]</b>	50	56 j	11,1	1,3	<b>9,6</b>	<b>13,3</b>

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

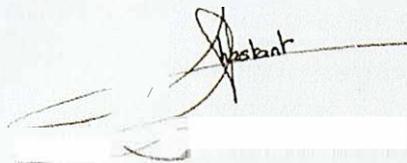
En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

J'esoussignée, Sylvie CHASTANT, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse commune de Elodie RICHARD et Amélie TONIOLO intitulée « Evaluation morphométrique et échographique de la croissance du chiot au cours des deux premiers mois de vie » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 28/10/2019  
Professeur Sylvie CHASTANT  
Enseignant-chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Vu:  
Le Directeur par intérim de l'Ecole  
Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Frédéric BOUSQUET

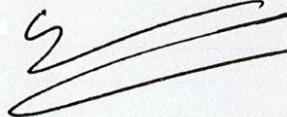
J. O. L. ◆ ◆ /



**Caroline LACROUX**  
Directrice de l'enseignement  
et de la vie étudiante

Vu:  
Le Président du jury :  
Professeur Christophe VAYSSIERE

Vu et autorisation de l'impression :  
Présidente de l'Université Paul Sabatier  
Madame Régine ANDRE-OBRECHT



La Présidente de l'Université Paul Sabatier,  
par délégation  
Le Vice-président de la CEVU  
**Richard GUILLET**

Mme Elodie RICHARD et Amélie TONIOLO  
ont respectivement été admises sur concours en : 2014  
ont obtenu leur diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 18/07/2018  
ont validé leur année d'approfondissement le : 16/07/2019  
n'ont plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

**Nom :** RICHARD Elodie et TONIOLO Amélie

**Titre :** ÉVALUATION MORPHOMÉTRIQUE ET ÉCHOGRAPHIQUE DE LA CROISSANCE DU CHIOT AU COURS DES DEUX PREMIERS MOIS DE VIE

Du fait du manque d'images de référence, l'interprétation des images échographiques chez le chiot est encore difficile. L'objectif de notre étude était ainsi de déterminer l'aspect et les dimensions normales des organes abdominaux ainsi que les paramètres morphométriques en fonction de l'âge chez le chiot en bonne santé. Des examens échographiques abdominaux ont été réalisés chez 50 chiots sains, de race Berger de Beauce, suivis régulièrement entre 2 et 56 jours d'âge. La longueur moyenne du rein gauche en coupe sagittale variait de  $2,52(\pm 1,2)$  cm à 2 jours d'âge à  $5,71(\pm 0,42)$  cm à 56 jours d'âge. La surface moyenne du lobe hépatique variait de  $5,39(\pm 0,85)$  cm<sup>2</sup> à 2 jours d'âge à  $26,13(\pm 2,94)$  cm<sup>2</sup> à 56 jours d'âge. La longueur moyenne du rein droit était significativement plus grande que celle du rein gauche chez 74 à 92 % des chiots selon l'âge. Les chiots à petit poids de naissance avaient un volume rénal et une surface hépatique proportionnellement plus faibles que les chiots nés avec un poids normal, respectivement jusqu'à une et deux semaines d'âge. À partir de 35 jours d'âge, les paramètres morphométriques et les dimensions du rein droit des mâles étaient plus élevés que ceux des femelles. À deux jours d'âge, la présence d'épanchement abdominal et de dilatation pyélique rénale a été mise en évidence chez respectivement 60% et 40% des chiots puis leur prévalence diminuait. Au cours du deuxième mois de vie, le parenchyme splénique présentait un aspect hétérogène, « léopardé », les nœuds lymphatiques étaient particulièrement développés et la structure en couches de la paroi digestive devenait visible. Cette étude fournit un guide pratique sur les dimensions normales des organes abdominaux chez le chiot au cours des deux premiers mois de vie et pourrait ainsi servir de référence préliminaire dans la pratique quotidienne.

**Mots-clés :** Chiot ; Échographie ; Abdomen ; Rein ; Rate ; Foie ; Intestins ; Nœuds lymphatiques ; Poids de naissance

**Title :** ULTRASOUND AND MORPHOMETRIC EVALUATION OF PUPPY'S GROWTH DURING THE TWO FIRST MONTHS OF LIFE

Interpretation of abdominal ultrasonographic images in puppies is difficult due to the lack of reference images. The purpose of this study was to determine the normal range of the dimensions and ultrasonographic appearance of visceral organs as well as body parameters according to age in healthy puppies. Ultrasound examinations were performed on 50 healthy, 2-to-56-days-old Berger de Beauce puppies. The mean length of the left kidney ranged from  $2.52(\pm 1.2)$  at 2 days old to  $5.71(\pm 0.42)$  cm at 56 days old. The mean hepatic lobe surface ranged from  $5.39(\pm 0.85)$  cm<sup>2</sup> at 2 days old to  $26.13(\pm 2.94)$  cm<sup>2</sup> at 56 days old. The mean length of the right kidney was larger than the left kidney for 74 to 92% of puppies depending on the age. Low birth weight puppies had proportionally lower renal volume and hepatic surface than normal birth weight puppies up to one and two weeks of age, respectively. After 35 days of life, male body parameters and right renal length were higher than females. A mild amount of anechoic free peritoneal fluid and renal pelvis distension were observed in 60% and 40% of the two-day-old puppies respectively, then these proportions gradually decreased. After 35 days of life, splenic parenchyma took an irregular, marble-like pattern. At the same time, there was an increase in lymph node size and bowel wall layering became apparent. This study provides a practical guide to assess whether the normal visceral organ dimensions in puppies are normal during the two first months of life and could be used as a preliminary reference in daily practice.

**Key words :** Puppy ; Ultrasonography ; Abdomen ; Kidney ; Spleen ; Liver ; Gastrointestinal ; Lymph nodes ; Body weight ; Birth weight

