



HAL
open science

Synthèse bibliographique portant sur le diagnostic des shunts portosystémiques par l'imagerie chez les carnivores domestiques

Pauline Gauthier

► **To cite this version:**

Pauline Gauthier. Synthèse bibliographique portant sur le diagnostic des shunts portosystémiques par l'imagerie chez les carnivores domestiques. Médecine vétérinaire et santé animale. 2018. dumas-04539608

HAL Id: dumas-04539608

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04539608>

Submitted on 9 Apr 2024

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

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



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/21431>

To cite this version:

Gauthier, Pauline. *Synthèse bibliographique portant sur le diagnostic des shunts portosystémiques par l'imagerie chez les carnivores domestiques*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2018, 122 p.

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

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE PORTANT SUR LE DIAGNOSTIC DES SHUNTS PORTO SYSTEMIQUES PAR L'IMAGERIE CHEZ LES CARNIVORES DOMESTIQUES

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

GAUTHIER, Pauline
Née, le 10 mars 1992 LYON (69)

Directeur de thèse : M. Fabrice CONCHOU

JURY

PRESIDENT :
Mme Isabelle BERRY

Professeure à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Fabrice CONCHOU
M. Giovanni MOGICATO

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

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

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- 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*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

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

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
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*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

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 **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **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 règlementées*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

Remerciements

A Madame le Professeure Isabelle BERRY
Professeure à l'Université Paul Sabatier de Toulouse
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Fabrice CONCHOU
Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pour m'avoir confié ce travail de thèse et encadrée durant cette préparation,
Sincères remerciements et toute ma reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Giovanni MOGICATO
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse,
Sincères remerciements.

A mes parents, avec le plus grand merci du monde, cette thèse est pour vous...

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	5
TABLE DES MATIERES.....	9
LISTE DES FIGURES.....	13
LISTE DES TABLEAUX.....	14
INTRODUCTION.....	15
I- ANATOMIE DES DIFFERENTS TYPES DE SHUNTS.....	17
1) RAPPELS EMBRYOLOGIQUES ET ANATOMIQUES.....	17
A) EMBRYOLOGIE VASCULAIRE DU FOIE.....	17
B) ANATOMIE GENERALE DU FOIE ET DE SA VASCULARISATION.....	19
a) Généralités.....	19
b) Anatomie de la veine porte et principaux affluents.....	20
i- Veines mésentériques.....	21
ii- Veine gastro-splénique.....	22
iii- Veine gastroduodénale.....	22
c) Anatomie de la veine cave caudale.....	23
d) Anatomie de la veine azygos.....	24
2) TYPES DE SHUNTS ET MORPHOLOGIES.....	24
A) SHUNTS PORTOSYSTEMIQUES CONGENITAUX.....	24
a) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques.....	25
i) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques à division gauche.....	25
ii) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques à division droite et centraux.....	26
b) Shunts portosystémiques congénitaux extrahépatiques.....	27
i) Principales communications avec la veine cave caudale.....	28
<u>Shunt gastro-cave gauche.....</u>	<u>28</u>
<u>Implication de la veine gastrique droite dans les shunts gastro-caves.....</u>	<u>30</u>
<u>Shunt spléno-cave ou gastrospléno-cave.....</u>	<u>32</u>
<u>Shunt impliquant la veine colique gauche.....</u>	<u>33</u>
ii) Principales communications avec la veine azygos.....	34
<u>Shunt gastro-azygos gauche.....</u>	<u>34</u>
<u>Implication de la veine gastrique droite dans les shunts gastro-azygos.....</u>	<u>35</u>
<u>Shunt spléno-azygos ou gastrospléno-azygos.....</u>	<u>35</u>
iii) Principale communication avec la veine phrénique gauche.....	35
B) SHUNTS PORTOSYSTEMIQUES ACQUIS.....	36
II- RADIOGRAPHIE.....	38
1) RADIOGRAPHIE CLASSIQUE.....	38
A) PRINCIPE.....	38
a) Propriétés et formation des rayons X.....	38
b) Paramètres de la machine.....	39
c) Interactions des rayons X avec les tissus.....	39
d) Acquisition d'une image.....	40
B) MISE EN PRATIQUE.....	41
C) IMAGES NORMALES.....	41

D)	CARACTERISTIQUES RADIOGRAPHIQUES LORS DE SHUNT	42
a)	Shunt portosystémique congénital	42
b)	Shunt portosystémique acquis	43
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE	43
2)	ANGIOGRAPHIE	44
A)	PRINCIPE	44
B)	MISE EN PRATIQUE	44
C)	IMAGES NORMALES	46
D)	IMAGES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE.....	47
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE.....	49
III-	<u>ECHOGRAPHIE</u>	<u>50</u>
1)	ECHOGRAPHIE CLASSIQUE ET METHODE DOPPLER.....	50
A)	PRINCIPE	50
a)	Formation de l'onde ultrasonore	50
b)	Propagation au sein des tissus.....	50
c)	Formation de l'image.....	51
d)	Principes du Doppler	52
B)	MISE EN PRATIQUE	53
a)	Mise en pratique de l'échographie abdominale : généralités	53
b)	Mise en pratique : échographie hépatique	54
c)	Mise en pratique : échographie du système porte	54
C)	IMAGES NORMALES DU FOIE ET DE SA VASCULARISATION	57
D)	IMAGES ECHOGRAPHIQUES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE	59
a)	Ascite et œdème.....	60
b)	Taille du foie, échogénicité.....	61
c)	Veines portes intrahépatiques	62
d)	Veine porte principale	63
i)	Diamètre.....	63
ii)	Vitesses moyenne et maximale du flux.....	63
iii)	Flux portal et variabilité	64
e)	Affluents de la veine porte	65
f)	Veine cave caudale.....	65
g)	Aorte et veine azygos	66
h)	Cas des shunts portosystémiques acquis.....	66
i)	Néphromégalie et urolithiases	67
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE	67
2)	ECHOGRAPHIE DE CONTRASTE ET MICROBULLES	69
A)	PRINCIPE	69
B)	MISE EN PRATIQUE	69
C)	IMAGES NORMALES	70
D)	IMAGES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE.....	70
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE	71
3)	CAS D'UNE ECHOGRAPHIE DE CONTRASTE PEROPERATOIRE.....	71
A)	PRINCIPE ET MISE EN PRATIQUE	71
B)	IMAGES DE SHUNT	72
C)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE.....	73
IV-	<u>SCINTIGRAPHIE.....</u>	<u>73</u>
A)	PRINCIPE	73
a)	Atome, radioactivité et formation des rayons γ	73

b)	Marqueurs utilisés en scintigraphie	75
c)	Acquisition et formation de l'image	76
d)	Principes de radioprotection appliqués à la scintigraphie	77
B)	MISE EN PRATIQUE	77
a)	Scintigraphie per rectale	77
b)	Scintigraphie trans-splénique.....	79
C)	IMAGES NORMALES	80
a)	Images normales avec utilisation du pertechnetate de sodium.....	80
b)	Images normales avec utilisation du pertechnetate de mebrofenin.....	81
D)	IMAGES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE.....	81
a)	Images lors de shunt portosystémique avec utilisation du pertechnetate de sodium.....	81
b)	Images lors de shunt portosystémique avec utilisation du pertechnetate de mebrofenin	84
E)	COMPARAISON SCINTIGRAPHIE PER-RECTALE VS TRANS-SPLENIQUE	85
F)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CES METHODES	87
<u>V- SCANNER</u>		87
A)	PRINCIPE	87
B)	MISE EN PRATIQUE DANS L'EXAMEN DE LA VASCULARISATION HEPATIQUE.....	89
C)	IMAGES NORMALES	91
D)	IMAGES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE.....	92
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE	96
<u>VI- IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE.....</u>		96
A)	PRINCIPE	96
a)	Notions de physique nucléaire.....	97
b)	Application en imagerie.....	99
B)	MISE EN PRATIQUE	101
C)	IMAGES NORMALES	103
D)	IMAGES LORS DE SHUNT PORTOSYSTEMIQUE.....	105
a)	Anomalies vasculaires	105
b)	Anomalies cérébrales.....	106
E)	AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE METHODE.....	108
<u>VII- BILAN : COMPARATIF DES METHODES</u>		108
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>		111

Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique du développement hépatique et de la vascularisation porte	18
Figure 2 : Représentation schématique des lobes hépatiques	20
Figure 3 : Anatomie générale de la veine porte	21
Figure 4 : Représentation schématique des racines de la veine porte	22
Figure 5 : Anatomie de la veine porte (partie crâniale)	23
Figure 6 : Représentation schématique des principaux types de shunts	25
Figure 7 : Représentation schématique des types de shunts intrahépatiques	27
Figure 8 : Représentation schématique des principaux types de shunts extrahépatiques	28
Figure 9 : Représentation schématique de l'anatomie des shunts gastro-caves gauches	29
Figure 10 : Représentations schématiques des shunts impliquant la veine gastrique droite ...	31
Figure 11 : Représentation schématique des shunts spléno-caves	33
Figure 12 : Représentation schématique des shunts impliquant la veine colique gauche	33
Figure 13 : Représentation schématique des shunts gastro-azygos gauches	34
Figure 14 : Représentation schématique des shunts impliquant la veine phrénique gauche ...	36
Figure 15 : Représentation schématique des shunts portosystémiques acquis	37
Figure 16 : Radiographies abdominales d'un chien atteint d'un shunt congénital porto-cave .	43
Figure 17 : Illustration de la technique de portographie mésentérique peropératoire	45
Figure 18 : Echelle visuelle et échelle numérique utilisées lors de portographie	46
Figure 19 : Image normale de portographie mésentérique peropératoire	47
Figure 20 : Portographie mésentérique en vue ventro-dorsale d'un chat atteint d'un shunt congénital gastro-cave gauche	48
Figure 21 : Principales incidences lors d'une portographie mésentérique chez un chat atteint d'un shunt porto-cave	48
Figure 22 : Image échographique d'un animal sain lors du plan 1	55
Figure 23 : Image échographique d'un animal sain lors du plan 2	55
Figure 24 : Doppler couleur de la veine porte chez un chien sain	56
Figure 25 : Image échographique d'un cas de shunts portosystémiques multiples acquis	61
Figure 26 : Images échographiques de shunts intrahépatiques	62
Figure 27 : Flux portal obtenu au doppler spectral	64
Figure 28 : Image doppler de la terminaison d'un shunt porto-cave chez un chien	66
Figure 29 : Mise en évidence de microbulles dans la veine cave caudale et dans la chambre cardiaque droite lors d'une échographie de contraste	71
Figure 30 : Suivi échographique peropératoire : apparition de microbulles dans la chambre cardiaque droite	72
Figure 31 : Images obtenues en scintigraphie trans-splénique chez un animal sain avec du pertechnetate de sodium	80
Figure 32 : Activité dans les ROI en scintigraphie trans-splénique avec utilisation de pertechnetate de mebrofenin chez un animal sain	81
Figure 33 : Image scintigraphique de shunt porto-azygos chez un chien avec du pertechnetate de sodium	82
Figure 34 : Image scintigraphique de shunt porto-cave chez un chien avec du pertechnetate de sodium	83
Figure 35 : Image scintigraphique de shunt intrathoracique chez un chien avec du pertechnetate de sodium	83
Figure 36 : Image scintigraphique de shunts multiples chez un chien avec du pertechnetate de sodium	84

Figure 37 : Scintigraphie trans-splénique avec du pertechnetate de mebrofenin chez un chien atteint d'un shunt porto-cave	85
Figure 38 : Exemple d'images construites suite à un examen scanner chez un chien atteint d'un shunt porto-cave.....	91
Figure 39 : Images d'angioscanner chez un animal sain	91
Figure 40 : Coupe transversale d'angioscanner obtenue chez un chien sain	92
Figure 41 : Images 3D d'angioscanner chez deux chiens atteints de shunts congénitaux.....	93
Figure 42 : Rendu volumique d'un shunt intrahépatique complexe.....	94
Figure 43 : Images scanner en rendu volumique et schéma d'un shunt porto-cave complexe	95
Figure 44 : Caractéristiques magnétiques du proton.....	97
Figure 45 : Application d'un champ magnétique à un échantillon de protons.....	98
Figure 46 : Application d'une onde de radiofréquence (RF) aux protons soumis à un champ magnétique B0	98
Figure 47 : Courbes de relaxation T1 et T2	99
Figure 48 : Représentation schématique du principe de la séquence TOF	101
Figure 49 : Influence du TE et du TR sur la pondération en T1 et T2.....	102
Figure 50 : Images d'une séquence TOF chez un animal sain	104
Figure 51 : Images IRM d'un shunt congénital intrahépatique à division gauche chez un chien	105
Figure 52 : Reconstructions d'images IRM d'un shunt congénital spléno-azygos chez un chien	106
Figure 53 : IRM cérébral d'un chien atteint d'un shunt portosystémique.....	107
Figure 54 : Hyperintensité du noyau lenticulaire en IRM lors de shunt congénital	107

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales propriétés des rayons X.....	38
Tableau 2 : Paramètres échographiques et valeurs usuelles	59
Tableau 3 : Paramètres échographiques modifiés lors de shunt	68
Tableau 4 : Localisation des microbulles pour les principaux types de shunts lors d'une échographie de contraste.....	70
Tableau 5 : Avantages et limites des méthodes d'imagerie disponibles dans le diagnostic des shunts portosystémiques chez les carnivores domestiques	109

Introduction

Les shunts portosystémiques sont des anomalies vasculaires qui touchent de nombreuses espèces animales, notamment les carnivores domestiques, avec une incidence variable. On considère par exemple que les shunts congénitaux touchent 0,06 à 2% des chiens (Van den Bossche, Van Steenbeek 2016). Chez un mammifère sain, le sang en provenance de l'estomac, de l'intestin, de la rate et du pancréas est acheminé par la veine porte et perfuse le foie au travers de multiples sinusoides. Ce sang entre ensuite dans les veines hépatiques avant de rejoindre la veine cave caudale jusqu'au cœur (Berent, Tobias 2009). On parle de shunt portosystémique lorsqu'un ou plusieurs vaisseaux achemine(nt) le sang depuis la veine porte jusqu'à la circulation systémique sans passer par le foie. Il peut être congénital ou acquis, simple ou multiple, mais aussi intra ou extra hépatique.

Cette anomalie engendre un panel de modifications métaboliques. Le foie étant « shunté », il ne reçoit pas les nutriments essentiels à son développement et à son travail de synthèse. On peut donc avoir une atrophie hépatique, une baisse de production protéique, une altération du métabolisme des lipides et éventuellement une insuffisance hépatique (Berent, Tobias 2009). De plus, le sang en provenance des viscères digestives ne passe pas par le foie et n'est donc pas détoxifié avant de rejoindre la circulation systémique. L'animal peut ainsi présenter des troubles neurologiques. En effet, l'ammoniac (NH_3), normalement éliminé au sein du parenchyme hépatique via le cycle de l'urée, peut en cas de shunt passer la barrière hémato-méningée : on parle d'encéphalose hépatique. Parmi les signes d'appel on note également des troubles gastro-intestinaux chroniques, des signes d'atteinte du bas appareil urinaire (avec la présence de calculs d'urate d'ammonium) (Winkler et al. 2003), des coagulopathies et un retard de croissance (Berent, Tobias 2009). Pour le clinicien, un shunt portosystémique peut être suspecté si un ou plusieurs de ces signes cliniques sont présents.

Plusieurs changements hématologiques et biochimiques sont également à noter, à savoir une anémie modérée microcytaire normochrome non régénérative (60-72% des chiens, 30% des chats), une hypoalbuminémie (50% des chiens, rare chez le chat), une urée diminuée (70% des chiens, typique chez le chat), une hypocholestérolémie et une hypoglycémie (résultat d'une diminution des synthèses hépatiques). Une augmentation moyenne des ALP et ALT (2 à 3 fois) est rapportée. Enfin, les acides biliaires pré et/ou postprandiaux sont augmentés. C'est un test très sensible mais peu spécifique. A l'analyse d'urine, on note généralement une diminution de

la densité urinaire, une cristallurie (urate d'ammonium) et une protéinurie (secondaire à une sclérose glomérulaire) (Berent, Tobias 2009).

L'imagerie tient une place centrale dans le diagnostic des shunts portosystémiques. En effet, les signes cliniques et les examens hématologiques, biochimiques et urinaires orientent le clinicien vers une suspicion de shunt mais seule sa visualisation permet un diagnostic de certitude. En pratique, la chirurgie elle-même pourrait servir de diagnostic direct mais le vétérinaire a recours à l'imagerie dans la plupart des cas pour clarifier une suspicion et pour obtenir plus d'informations sur la nature du shunt (Tivers, Lipscomb 2011). Des examens tels que la radiographie, l'échographie, l'angiographie, la scintigraphie, le scanner ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM) permettent au clinicien de confirmer ou non ses hypothèses mais aussi la plupart du temps de définir l'anatomie du shunt (c'est à dire son origine, son insertion, son trajet et le nombre de vaisseaux impliqués). A ce titre, l'examen d'imagerie permet la plupart du temps de dire si le shunt est opérable ou non (Owens, Parnell 2011) et de planifier la chirurgie en donnant aux propriétaires des indicateurs pronostics (Papazoglou, Monnet, Seim 2002; Santilli, Gerboni 2003; Tivers, Lipscomb 2011).

I- Anatomie des différents types de shunts

On distingue principalement les shunts portosystémiques congénitaux et les shunts portosystémiques acquis. Pour mieux comprendre leurs origines et leurs différentes morphologies, il convient de revenir sur l'anatomie générale de la vascularisation hépatique ainsi que sur son embryogénèse. En effet, c'est notamment la connaissance anatomique et topographique des affluents de la veine porte et de la veine cave caudale qui permet l'identification d'un vaisseau anormal.

1) Rappels embryologiques et anatomiques

A) Embryologie vasculaire du foie

Les veines de l'ensemble de la cavité abdominale sont dérivées des veines embryonnaires ombilicales, vitellines et de la veine cardinale caudale (Van den Bossche, Van Steenbeek 2016). En effet, le sinus veineux du fœtus reçoit le sang drainé par les veines primitives suivantes :

- Les veines cardinales crânielles et caudales (aussi appelées respectivement veines précardinales et postcardinales) qui drainent les parois du corps.
- Les veines ombilicales droite et gauche qui assurent la connexion entre le placenta et la circulation fœtale.
- Les veines vitellines gauche et droite qui drainent l'intestin primitif.

Les veines ombilicales et vitellines sont rapidement colonisées par des cellules du primordium hépatique. Au cours du développement, de nombreuses anastomoses se créent entre ces différents vaisseaux : certains segments persistent, d'autres disparaissent. Aussi, les veines collectrices majeures et asymétriques que nous connaissons en tant que veines caves se forment à partir des veines cardinales du fœtus et collectent le sang des veines restées symétriques des régions périphériques du corps (Barone 2011; Van den Bossche, Van Steenbeek 2016).

La veine porte quant à elle dérive principalement des veines vitellines. Ces dernières forment trois anastomoses : deux anastomoses ventrales à l'intestin primitif et une anastomose dorsale placée entre les deux premières (Figure 1). La veine ombilicale droite disparaît alors que la veine ombilicale gauche se jette dans l'anastomose ventrale crâniale devenue intrahépatique. Au final, certains segments persistent, d'autres disparaissent ou sont

profondément modifiés. Ainsi, les veines vitellines envahies par le primordium hépatique se transforment en un réseau de sinusoides. Par conséquent, la veine porte est formée à partir :

- Du segment de la veine vitelline gauche allant jusqu'à l'anastomose dorsale,
- De l'anastomose dorsale,
- Du segment de la veine vitelline droite à partir de l'anastomose dorsale,
- De l'anastomose ventrale crâniale.

L'anastomose ventrale crâniale toujours intrahépatique reçoit le sang de la veine ombilicale gauche (dernière veine ombilicale persistante) qui se prolonge jusqu'à la veine cave caudale par un canal appelé *Ductus venosus* (anciennement canal d'Arantius). Cette anastomose intrahépatique deviendra par la suite le rameau gauche de la veine porte (Barone 2011).

Le *Ductus venosus* permet au sang placentaire de rejoindre directement la circulation générale sans passer par les sinusoides hépatiques. Ce canal veineux se ferme normalement entre 2 et 6 jours après la naissance ce qui établit la circulation hépatique normale. Cette fermeture peut être retardée chez certaines races telles que l'Irish Wolfhund (Lamb, Burton 2004; Santilli, Gerboni 2003; Van den Bossche, Van Steenbeek 2016).

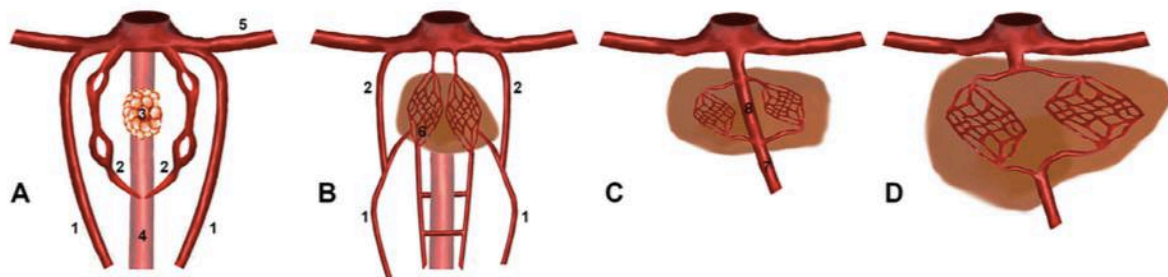


Figure 1 : Représentation schématique du développement hépatique et de la vascularisation porte

1 : veines ombilicales, 2 : veines vitellines, 3 : bourgeons hépatiques, 4 : duodénum, 5 : veines cardinales communes, 6 : sinusoides hépatiques, 7 : veine porte, 8 : Ductus venosus
(Van den Bossche, Van Steenbeek 2016)

B) Anatomie générale du foie et de sa vascularisation

a) Généralités

Le foie est la plus volumineuse glande du corps. Il assure des fonctions endocrines et exocrines et se décompose en six lobes (Figure 2) (Evans, de Lahunta 2013) :

- Le lobe caudé,
- Le lobe latéral et le lobe médial droit,
- Le lobe carré,
- Le lobe médial gauche et latéral gauche (Sleight, Thomford 1970).

Environ 4/5 du sang entrant dans le foie est acheminé par la veine porte. Cette dernière draine le sang chargé en nutriments depuis l'estomac, les intestins, le pancréas et la rate. Le flux normal dans l'ensemble du système porte est dit hépatopète. C'est le flux, qui, dirigé vers le foie, permet à toutes les substances absorbées par les viscères d'être acheminées jusqu'au parenchyme hépatique pour être métabolisées (Wachsberg et al. 2002).

Les artères hépatiques quant à elles fournissent du sang oxygéné aux cellules du parenchyme hépatique (Evans, de Lahunta 2013). L'artère hépatique principale a toujours pour origine l'artère cœliaque. Elle chemine sur la droite et pénètre dans la marge libre du ligament hépatoduodénal au sein duquel elle forme une arche. Cette arche émet différentes branches dont le nombre varie entre les individus (entre 1 et 5) et qui vont irriguer les lobes hépatiques. La portion terminale de l'arche quitte le ligament hépatoduodénal et devient l'artère gastroduodénale.

Les veines hépatiques, elles, drainent le sang d'origine viscérale détoxifié par le foie et le sang appauvri en oxygène d'origine artérielle. Les veines hépatiques, de taille significative, varient entre 6 et 8 selon les individus et affluent dans la veine cave caudale (Sleight, Thomford 1970).

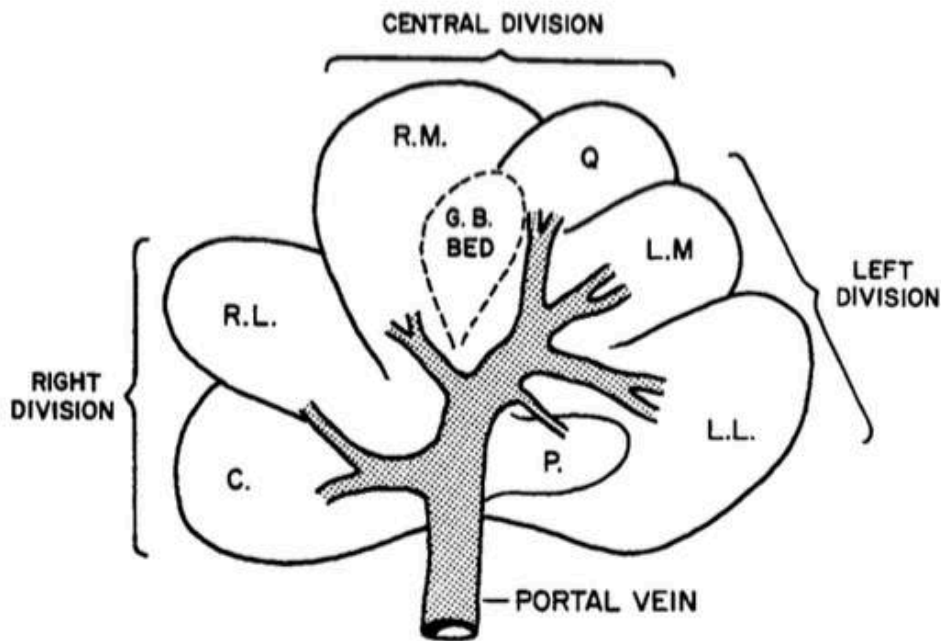


Figure 2 : Représentation schématique des lobes hépatiques (Sleight, Thomford 1970)

b) Anatomie de la veine porte et principaux affluents

La vascularisation porte est un ensemble vasculaire unique qui prend naissance dans de nombreux capillaires au sein des viscères abdominaux et se termine par de multiples capillaires hépatiques (Evans, de Lahunta 2013). En son centre, la veine porte se décompose en une portion pré-hépatique, rejoint par plusieurs affluents et une portion hépatique qui se ramifie au sein du parenchyme (Kalt, Stump 1993).

La veine porte a pour origine la confluence de la veine mésentérique crâniale et de la veine mésentérique caudale qui a lieu dorsalement au colon transverse, en regard de l'extrémité caudale de la première vertèbre lombaire (Figure 3) (Barone 2011; Kalt, Stump 1993). Elle chemine crânialement en direction du foie en longeant la veine cave caudale dans un premier temps puis s'en éloigne en se latéralisant à droite. Elle passe au niveau de la face dorsale du pancréas et croise le duodénum en passant dans le bord droit du petit omentum. Elle rejoint alors l'artère hépatique à la porte du foie. Elles pénètrent ensemble dans l'organe, dorsalement au conduit cholédoque. Sur son trajet, la veine porte reçoit dans l'ordre : la veine splénique, la veine gastroduodénale et, chez certains chiens, la veine gastrique droite (Barone 2011).

A la porte du foie, elle se divise en deux branches fortement divergentes :

- Une branche droite, courte, qui se ramifie pour irriguer le lobe latéral droit et le processus caudé du lobe caudé,
- Une branche gauche, dans la continuité de la veine porte, qui irrigue les lobes restants et le processus papillaire du lobe caudé.

Les ramifications ultimes de la veine porte sont de type terminales et sont donc dépourvues d'anastomoses (Barone 2011).

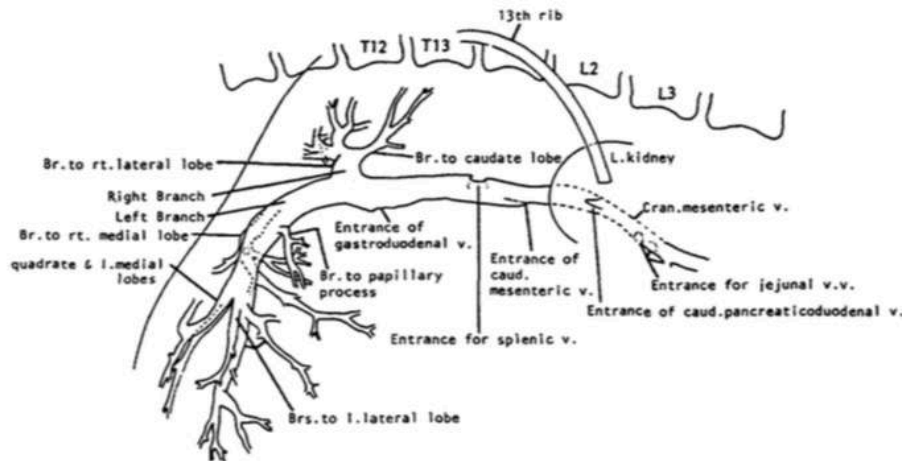


Figure 3 : Anatomie générale de la veine porte
(Kalt, Stump 1993)

i- Veines mésentériques

La confluence de la veine mésentérique crâniale et de la veine mésentérique caudale forme la veine porte.

La veine mésentérique crâniale est un vaisseau volumineux qui draine l'intestin grêle et dont l'organisation suit l'artère correspondante. Elle possède principalement une racine jéjunale et une racine iléo-colique.

La veine mésentérique caudale quant à elle a pour unique racine la veine rectale crâniale. Cette dernière est impaire et possède de multiples communications avec les veines rectales moyennes et caudales, qui, elles, sont paires et affluentes de la veine cave caudale (Figure 4). Chez les carnivores, la veine mésentérique caudale passe ensuite au contact du colon descendant. Elle croise par la gauche l'origine de l'artère mésentérique caudale puis l'artère mésentérique crâniale avant de rejoindre la veine mésentérique crâniale (Barone 2011).

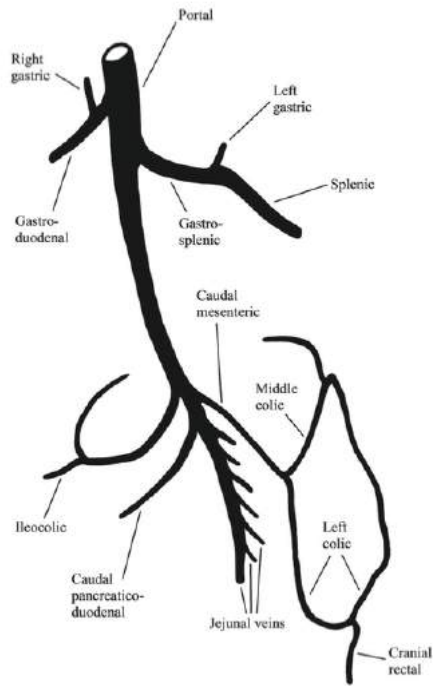


Figure 4 : Représentation schématique des racines de la veine porte (White, Parry 2016)

ii- Veine gastro-splénique

La veine gastro-splénique est l'affluent le plus volumineux de la veine porte et est toujours l'affluent le plus caudal (Figure 5). Cette veine collecte du sang splénique (veine splénique) et pancréatique mais reçoit également des veines gastriques courtes et la veine gastrique gauche. Cette dernière draine le fundus et le corps de l'estomac en suivant la petite courbure où elle communique avec la veine gastrique droite par de multiples anastomoses (Barone 2011).

iii- Veine gastroduodénale

La veine gastroduodénale rejoint la veine porte juste caudalement à son entrée dans le foie. Elle a pour origine l'anastomose de la veine gastro-épiploïque droite et gauche dans le grand omentum. Son trajet suit la grande courbure de l'estomac puis croise le duodénum proximal. A ce niveau elle reçoit la veine pancréatico-duodénale et la veine gastrique droite chez le chat. Chez la plupart des chiens, la veine gastrique droite reste indépendante et rejoint la veine porte juste en avant de la veine gastroduodénale (Barone 2011).

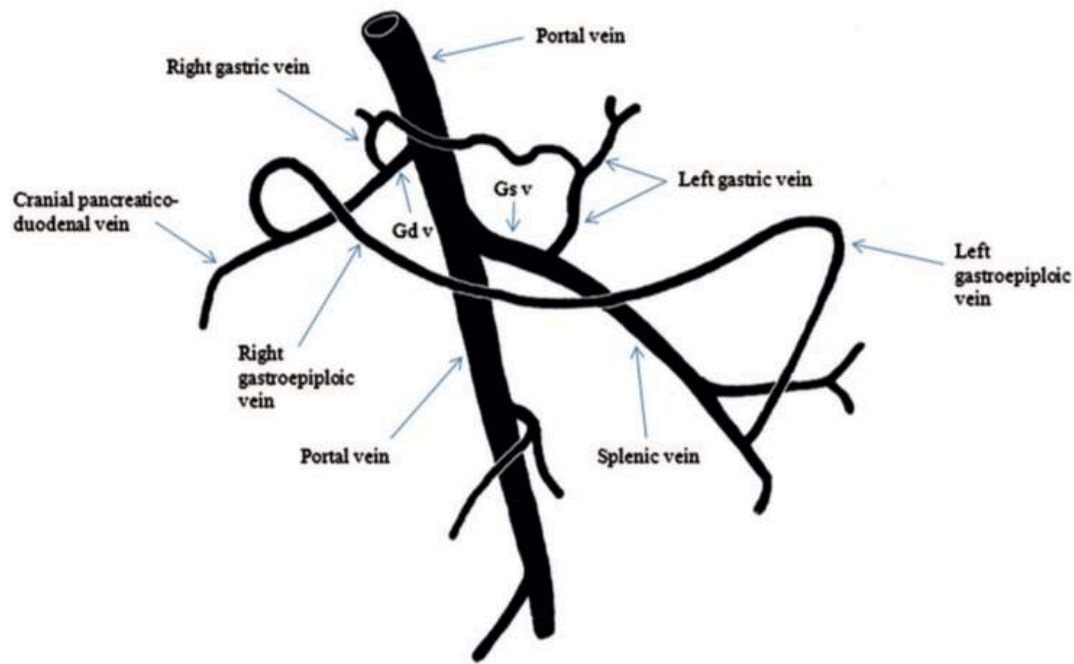


Figure 5 : Anatomie de la veine porte (partie crâniale)
(White, Parry 2015)

c) Anatomie de la veine cave caudale

La veine cave caudale est le vaisseau le plus volumineux de l'organisme. Elle draine le sang des membres pelviens, du bassin et de l'abdomen (Barone 2011). Son origine est la convergence des veines iliaques communes, sur la face ventrale de la 7^{ème} vertèbre lombaire (Evans, de Lahunta 2013). La veine cave caudale possède trois segments :

- Un segment lombaire qui chemine à droite de l'aorte abdominale en s'inclinant graduellement ventralement jusqu'à atteindre le lobe caudé.
- Un segment hépato-phrénique qui creuse un sillon profond au sein du lobe caudé avant de rejoindre le diaphragme. Elle traverse ce dernier via le foramen de la veine cave caudale.
- Un segment thoracique bref qui chemine jusqu'à la partie caudale de l'atrium droit dans un pli pleural médiastinal. Elle se loge entre le lobe caudal droit du poumon et le lobe accessoire.

Son segment thoracique est dépourvu d'affluent. Toutefois sur ses autres portions, la veine cave caudale reçoit des veines pariétales et viscérales (veines testiculaires ou ovariennes, rénales, suprarénales et hépatiques) (Barone 2011; Evans, de Lahunta 2013).

d) Anatomie de la veine azygos

Nous avons précédemment décrit l'anatomie de l'ensemble de la vascularisation hépatique. La veine azygos n'intervient pas dans la vascularisation hépatique, toutefois, ses caractéristiques anatomiques expliquent qu'elle puisse être, au même titre que la veine cave caudale, l'effluent d'un shunt portosystémique. En effet, la veine azygos a pour origine la confluence des veines intervertébrales gauche et droite de la 3^{ème} vertèbre lombaire, ventralement à celle-ci. Sur son trajet en direction du cœur, elle reçoit le sang des veines lombaires, intercostales, broncho-œsophagiennes et de la veine costo-abdominale dorsale. Elle passe au travers du diaphragme via le hiatus aortique et s'incline ventralement à proximité de la racine du poumon droit pour se jeter dans la veine cave caudale en angle droit, crânialement à la base du cœur (Evans, de Lahunta 2013).

2) Types de shunts et morphologies

A) Shunts portosystémiques congénitaux

Les shunts portosystémiques peuvent être d'origine congénitale ou acquise. Les shunts dits congénitaux sont généralement uniques et touchent 0,06-0,2% des chiens (Van den Bossche, Van Steenbeek 2016). Dans de rares cas, on rencontre une circulation acquise collatérale en plus d'un shunt simple ou bien des shunts congénitaux doubles ou multiples (Berent, Tobias 2009; Leeman et al. 2013).

Des études ont montré que certaines races sont prédisposées à ces shunts portosystémiques congénitaux. Ainsi Tobias et Rohrbach ont mis en évidence en 2003 le fait que certaines races « pures » avaient significativement plus de chance d'avoir un shunt en comparaison de chiens issus de croisement. C'est le cas par exemple du Bichon Havanais, du Yorkshire Terrier, du Bichon Maltais et du Carlin (Tobias, Rohrbach 2003). Toutefois, il a été montré que les races qui ne sont pas prédisposées aux shunts sont plus à même de présenter un shunt inhabituel voir inopérable (Hunt 2004).

Enfin, ces vaisseaux anormaux peuvent avoir plusieurs localisations. S'ils sont situés au sein même du parenchyme hépatique, on parle de shunt intrahépatique. A l'inverse, s'ils connectent la veine porte à la circulation systémique en dehors du foie on parle de shunt

extrahépatique (Figure 6). Entre 25 et 33% des shunts congénitaux rencontrés en pratique chez le chien et le chat sont intrahépatiques contre 55 à 75% extrahépatiques (Berent, Tobias 2009).

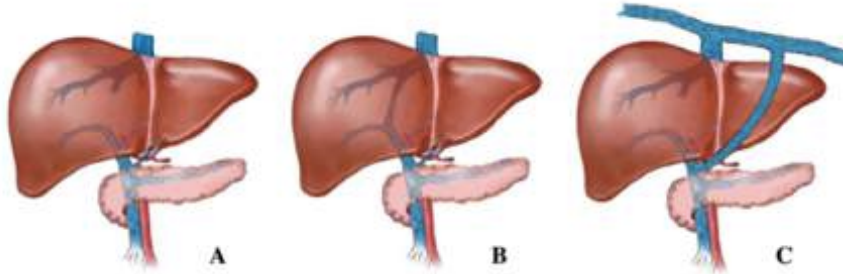


Figure 6 : Représentation schématique des principaux types de shunts
A : vascularisation normale du foie, B : shunt intrahépatique, C : shunt extrahépatique
(Van Steenbeek et al. 2012)

a) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques

Embryologiquement, les shunts congénitaux intrahépatiques sont le résultat d'une communication anormalement persistante entre les parties crâniales et caudales de la veine vitelline droite via la veine ombilicale gauche (Santilli, Gerboni 2003). La plupart de ces shunts sont diagnostiqués chez des chiens de grande race tels que l'Irish Wolfhund, le Labrador ou le Golden Retriever (Berent, Tobias 2009; Philbey 2013; Van den Bossche, Van Steenbeek 2016).

Ils peuvent être classés selon leur position au sein du parenchyme hépatique (Figure 7). Ainsi, on distingue les shunts intrahépatiques à division gauche, droite et les shunts intrahépatiques centraux (Santilli, Gerboni 2003). Les différentes études menées sur le sujet chez le chien s'accordent à dire que les shunts à division droite et gauche sont rencontrés à la même fréquence. Les shunts centraux, en revanche, sont moins courants (Weisse et al. 2014).

i) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques à division gauche

Les shunts congénitaux intrahépatiques présentent fréquemment une division gauche. C'est en effet la majorité des cas de shunts intrahépatiques chez le chat (Tivers, Lipscomb 2011). White et Burton ont montré en 2000 et 2001 que l'anatomie de ces shunts était en tout point comparable et équivalente à l'anatomie du *Ductus venosus* chez des chiots nouveaux nés. Ainsi, on parle souvent de persistance du *Ductus venosus* dans les cas de shunt à division gauche (White, Burton 2000, 2001). Les facteurs qui jouent un rôle sur la fermeture normale de ce

vaisseau ne sont aujourd'hui pas connus chez la plupart des espèces domestiques. Les principales hypothèses étudiées à ce jour sont les variations hémodynamiques suite à la naissance. Les chercheurs se penchent également sur des investigations génétiques (Philbey 2013). Toutefois certaines formes particulières rendent la ressemblance moins évidente, c'est pourquoi certains auteurs ne qualifient pas l'ensemble des shunts à division gauche comme persistance du *Ductus venosus* (Santilli, Gerboni 2003).

Anatomiquement, il s'agit d'un vaisseau court et droit qui a pour origine la branche gauche de la veine porte. Ce vaisseau rejoint une dilatation veineuse, en cheminant craniolatéralement entre le lobe latéral droit et le processus papillaire du lobe caudé, qui, elle-même se draine dans la veine cave caudale post-hépatique au niveau du diaphragme. Cette dilatation est une ampoule veineuse qui reçoit, outre ce vaisseau, le sang de la veine hépatique gauche et de la veine phrénique gauche (Lamb, White 1998; Santilli, Gerboni 2003; White, Burton 2000, 2001). Si cette description anatomique est largement majoritaire, il ne faut pas oublier que des variations sont possibles et peuvent donner lieu à des shunts intrahépatiques à division gauche atypiques (Lamb, White 1998).

ii) Shunts portosystémiques congénitaux intrahépatiques à division droite et centraux

Les chercheurs ont longtemps considéré l'ensemble des shunts congénitaux intrahépatiques comme des persistances du *Ductus venosus*. Aujourd'hui, l'origine embryologique des shunts à division droite et des shunts centraux reste floue. En effet, plusieurs hypothèses sont avancées mais aucune n'a été à ce jour démontrée. Dans leur étude sur la persistance du *Ductus venosus*, en 2000, White et Burton énoncent les deux principales théories (White, Burton 2000) :

- Il pourrait s'agir d'une anomalie de position du *Ductus venosus* se surajoutant à sa persistance.
- Il pourrait s'agir d'un vaisseau anormal présent en plus du *Ductus venosus* fonctionnel, fermé à la naissance et donc avant le diagnostic de shunt. Certains auteurs parlent par exemple d'une malformation des sinusoides hépatiques ou de la persistance de la veine omphalo-mésentérique (Van den Bossche, Van Steenbeek 2016).

Anatomiquement, un shunt à division droite est un vaisseau large et tortueux qui chemine, depuis la branche droite de la veine porte, à travers le lobe latéral droit avant de rejoindre la veine hépatique droite (Lamb, White 1998; Santilli, Gerboni 2003).

Dans le cas d'un shunt central, le vaisseau est relativement droit et chemine dans le lobe médial droit. Il est caractérisé par une dilatation marquée au niveau de son point d'entrée dans la veine cave caudale (Lamb, White 1998).

Si ces critères semblent permettre de distinguer les shunts à division droite et centraux, ils restent néanmoins subjectifs. De plus, des variations individuelles ainsi que la proximité entre les lobes droits médial et latéral peuvent rendre la distinction entre ces deux types de shunt compliquée (Lamb, White 1998).

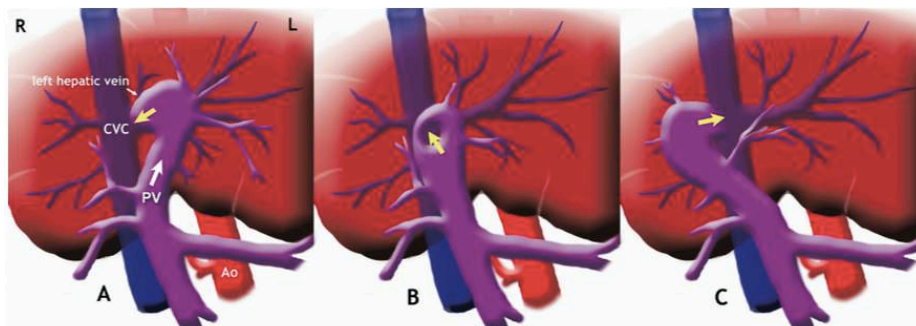


Figure 7 : Représentation schématique des types de shunts intrahépatiques
 A : shunt à division gauche, B : shunt central, C : shunt à division droite
 CVC : Veine cave caudale, PV : Veine porte
 (D'Anjou 2007)

b) Shunts portosystémiques congénitaux extrahépatiques

Les shunts congénitaux extrahépatiques ont pour origine embryonnaire le développement d'une communication anormale et fonctionnelle entre une veine vitelline et une veine du système cardinal (Santilli, Gerboni 2003; Van den Bossche, Van Steenbeek 2016). Ce sont les shunts portosystémiques congénitaux les plus fréquents chez le chat puisqu'ils représentent entre 73 et 100% de ces anomalies selon les études (Tivers, Lipscomb 2011). Chez le chien, les shunts extrahépatiques vont plutôt toucher les petites races telles que les Bichons Maltais ou Havanais, le Yorkshire Terrier ou le Carlin (Berent, Tobias 2009; Tobias, Rohrbach 2003). La majorité des shunts extrahépatiques congénitaux sont des communications entre :

- La veine porte elle-même, la veine splénique ou la veine gastroduodénale d'une part
- La veine cave caudale ou la veine azygos d'autre part (Figure 8)

Une communication du système porte avec une veine phrénique est moins courante mais reste possible (White, Parry 2013). Par convention, on nomme ces shunts en citant en premier le nom du vaisseau dont le shunt émane puis la veine dans laquelle il se termine. Ainsi, on rencontre fréquemment des shunts « porto-caves » ou « porto-azygos » par exemple (Santilli, Gerboni 2003; White, Parry 2013). Toutefois même si le vaisseau anormal émane de la veine porte, il est fréquent que les auteurs nomment le shunt par le nom du vaisseau au sein duquel le sang shunté s'écoule. Chez le chat, par exemple, la forme la plus commune est un shunt « gastro-cave gauche » mettant en jeu la veine gastrique gauche (Tivers, Lipscomb 2011).

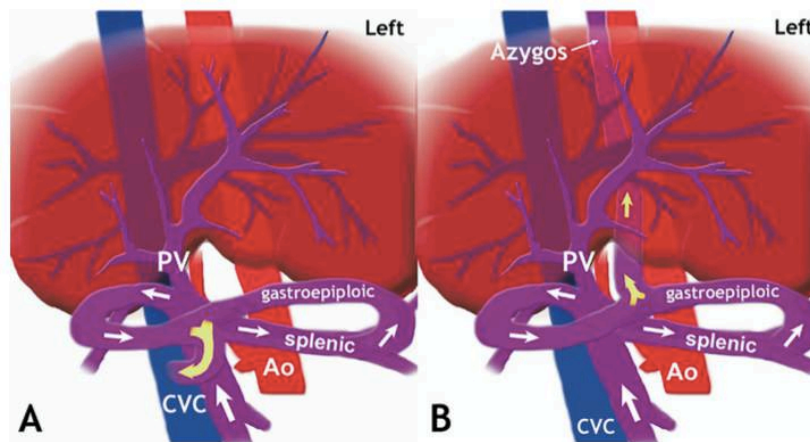


Figure 8 : Représentation schématique des principaux types de shunts extrahépatiques
 A : communication avec la veine cave caudale, B : communication avec la veine azygos
 CVC : Veine cave caudale, PV : Veine porte, Ao : Aorte
 (D'Anjou 2007)

i) Principales communications avec la veine cave caudale

Shunt gastro-cave gauche

White et Parry ont étudié en 2013 l'anatomie des shunts extrahépatiques en provenance de la veine gastrique gauche chez 46 chiens et 27 chats (White, Parry 2013). Dans cette étude, le shunt se termine au niveau de la veine cave caudale post-hépatique chez 22% des chiens et 30% des chats.

Anatomiquement, le vaisseau anormal est toujours peu dévié dans le plan latéral. Il suit sur la fin de son trajet le diaphragme avec une courte portion latéro-médiale juste avant son entrée dans la veine cave caudale.

Cette communication avec la circulation systémique peut prendre deux formes :

- Le shunt rejoint la veine cave caudale post-hépatique. La veine phrénique gauche quant à elle rejoint la veine cave dans la même zone. L'anatomie précise de cette zone n'est pas claire et on ne sait pas si la veine phrénique gauche rejoint d'abord le vaisseau anormal ou bien reste indépendant jusqu'à la veine cave caudale.
- Le shunt rejoint une dilatation veineuse dite « ampoule » semblable à celle rencontrée lors de persistance du *Ductus venosus* dans laquelle se termine également la veine phrénique gauche. Les chercheurs pensent que cette ampoule est la conséquence de flux sanguins turbulents (Figure 9).

Dans des cas atypiques, la veine gastrique gauche continue crânialement jusqu'à passer par le hiatus œsophagien et rejoint la veine cave caudale le long de la surface du diaphragme (White, Parry 2013).

D'autres shunts gastro-caves gauches sont décrits mais mettent également en jeu la veine gastrique droite. Ces shunts seront appelés « gastro-cave » gauche dans la nomenclature classique. Toutefois certains auteurs proposent une sous-nomenclature pour ces shunts dont le sang passe majoritairement dans la veine gastrique droite (White, Parry 2015).

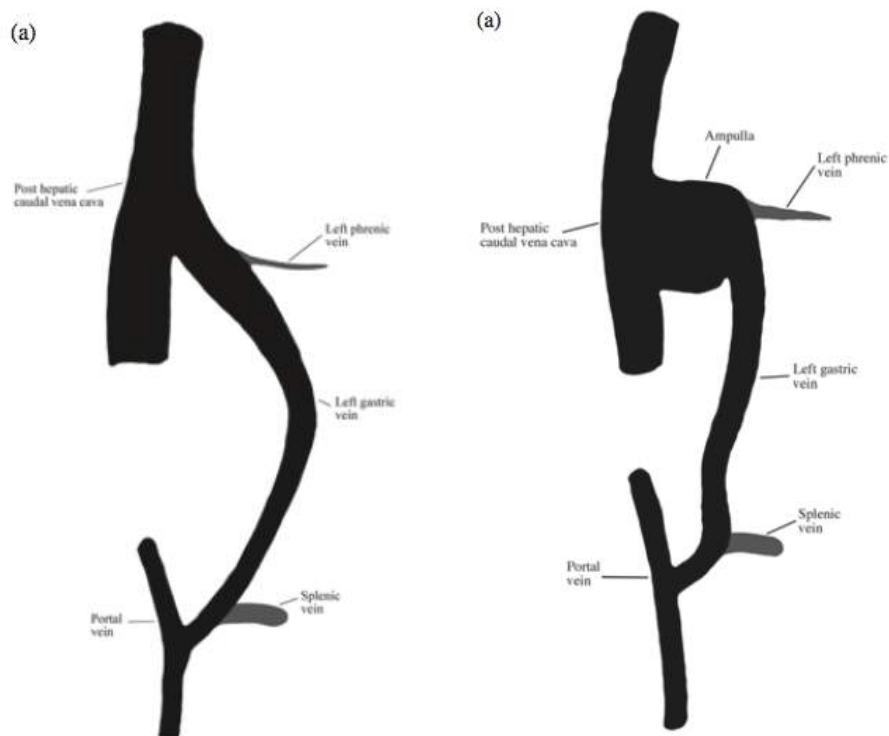


Figure 9 : Représentation schématique de l'anatomie des shunts gastro-caves gauches (White, Parry 2013)

White et Parry ont étudié en 2015 l'anatomie des shunts extrahépatiques impliquant la veine gastrique droite chez 22 chiens. La principale conclusion de cette étude est que lors de shunts mettant en jeu la veine gastrique droite, le shunt ne communique pas directement entre la circulation systémique et la veine gastrique droite elle-même comme on pourrait s'y attendre mais plutôt entre la veine gastrique gauche et la circulation générale (White, Parry 2015).

Ainsi, si pour la nomenclature ces shunts sont des shunts gastro-caves gauches, les auteurs proposent une sous-nomenclature pour ces cas particuliers. Selon les études, ces shunts pourront être appelés « gastro-cave gauche impliquant la veine gastrique droite » ou plus simplement « gastro-cave droit » (Nelson, Nelson 2011; White, Parry 2015).

Deux principaux types de shunts se terminant dans la veine cave caudale sont mis en évidence (Figure 10) :

- Le type A : le vaisseau anormal rejoint la veine cave caudale pré-hépatique au niveau du foramen épiploïque. C'est le cas dans 91% des shunts de l'étude.
- Le type B : le vaisseau anormal rejoint la veine cave caudale post-hépatique au niveau du foramen cave du diaphragme. C'est le cas des 9% restant de l'étude. Anatomiquement la veine gastrique droite passe le long de la petite courbure de l'estomac et rejoint la veine gastrique gauche à hauteur de l'incisure angulaire. Le vaisseau anormal continue cranio-dorsalement en direction du diaphragme et entre dans la veine cave caudale post-hépatique (White, Parry 2015).

Dans le type A, trois sous-types anatomiquement différents ont été décrits :

- Le type Ai : la veine gastro-splénique ne se forme pas. Dans ces cas, la veine splénique communique, seule, avec la veine porte (Nelson, Nelson 2011). La veine gastrique gauche quant à elle, reçoit une veine gastrique droite élargie au niveau de l'incisure angulaire de l'estomac. Elle passe ensuite dorso-médialement pour rejoindre la veine cave caudale pré-hépatique sur la gauche au niveau du foramen épiploïque (White, Parry 2015).
- Le type Aii : la veine gastro-splénique se forme par confluence de la veine gastrique gauche et de la veine splénique avant de rejoindre la veine porte. Toutefois, la veine gastrique droite, élargie, rejoint la veine gastrique gauche après avoir longé la petite courbure de l'estomac, au niveau de l'incisure angulaire. Le vaisseau anormal émerge depuis la veine gastrique gauche, dorsalement au pylore, à équidistance entre la

confluence des deux veines gastriques et celle de la veine gastrique gauche et de la veine splénique. Ce vaisseau entre dans la veine cave caudale pré-hépatique sur la gauche au niveau du foramen épiploïque (White, Parry 2015). Ce type de shunt est important à reconnaître avant une éventuelle chirurgie car il forme deux boucles (Nelson, Nelson 2011).

- Le type Aiii : la veine gastro-splénique ne communique pas avec la veine porte. La veine gastrique droite, élargie, rejoint la veine gastrique gauche après avoir longé la petite courbure de l'estomac, au niveau de l'incisure angulaire. La veine gastrique gauche, élargie à son tour, continue dorso-médialement. Elle est rejointe par la veine splénique avant d'entrer dans la veine cave caudale pré-hépatique sur le côté gauche au niveau du foramen épiploïque (Nelson, Nelson 2011; White, Parry 2015)

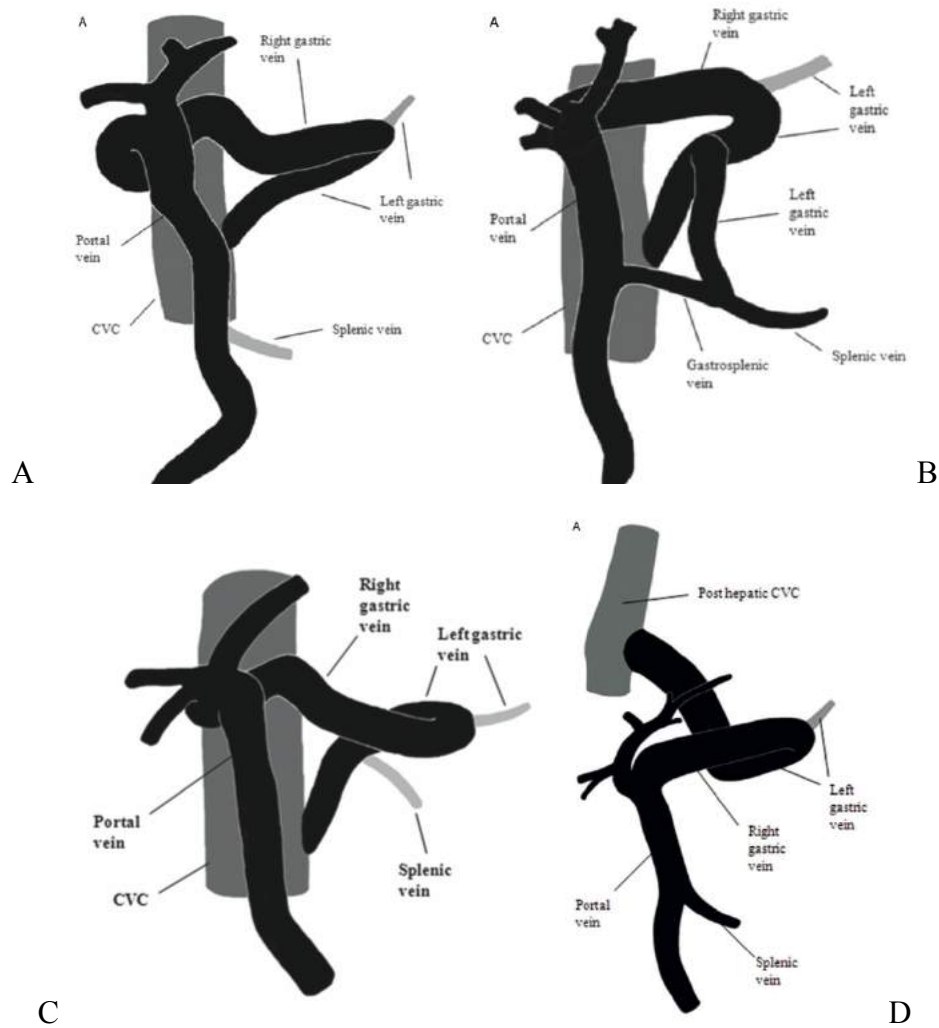


Figure 10 : Représentations schématiques des shunts impliquant la veine gastrique droite

A : type Ai, B : type Aii, C : type Aiii, D : type B

(White, Parry 2015)

Il faut garder en tête que de multiples variations, même minimales, existent au sein même des principaux types décrits ici. En effet, le simple fait que la veine gastrique droite chez le chien sain rejoigne ou non la veine gastroduodénale avant de communiquer avec la veine porte montre que l'origine de ces shunts peut mettre en jeu ou non la veine gastroduodénale (Nelson, Nelson 2011).

L'ensemble des études menées sur ces shunts gastro-caves montrent que le vaisseau anormal est dans la continuité de la veine gastrique gauche dans tous les shunts décrits. Cette caractéristique suggère qu'une anomalie embryonnaire du développement de la veine gastrique gauche est à l'origine de ces shunts extrahépatiques (White, Parry 2015).

Shunt spléno-cave ou gastrospléno-cave

L'anatomie des shunts spléno-cave a été décrite chez le chien et le chat dans plusieurs études (Nelson, Nelson 2011; Szatmári et al. 2004; White, Parry 2016). Ainsi, ces anomalies ont dans un premier temps été qualifiées de shunts spléno-caves et elles le sont encore parfois aujourd'hui, par facilité de langage.

Dans l'étude menée par Nelson et Nelson en 2011, ces derniers décrivent une veine splénique élargie dans laquelle afflue une branche veineuse de la petite courbure de l'estomac juste avant de rejoindre la veine cave caudale. En réalité, ces shunts émanent de la veine porte via une veine gastro-splénique élargie (Figure 11). Selon White et Parry, cette veine afflue dans la veine gastrique gauche qui, élargie également, continue dorso-médialement avant de rejoindre la veine cave caudale pré-hépatique par la gauche au niveau du foramen épiploïque (White, Parry 2016). Ainsi, si le terme de shunt « gastrospléno-cave » paraît plus juste, White et Parry concluent en 2016, que l'appellation « gastro-cave gauche » pour décrire ces shunts serait plus précise (White, Parry 2016). Toutefois, dans la littérature on retrouve largement le terme de shunt congénital spléno-cave.

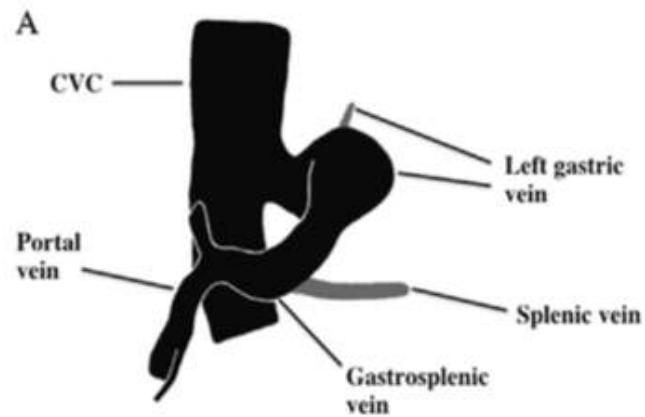


Figure 11 : Représentation schématique des shunts spléno-caves
(White, Parry 2016)

Shunt impliquant la veine colique gauche

L'anatomie des shunts extrahépatiques impliquant la veine colique gauche a été décrite par White et. al en 2016 chez 6 chiens et 3 chats. Dans tous les cas étudiés, la veine colique gauche, élargie, est en continuité avec la veine mésentérique caudale elle-même élargie. La plupart du temps, la veine colique gauche se courbe crânialement, dorsalement et sur la droite à hauteur de la 6-7^{ème} vertèbre lombaire avec un virage de 180°. Elle se termine dans la veine cave caudale dans laquelle elle pénètre par la gauche au niveau de la 5-6^{ème} vertèbre lombaire (Figure 12) (White, Robert, Parry 2016).

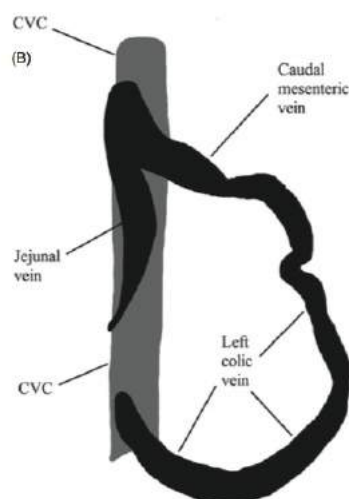


Figure 12 : Représentation schématique des shunts impliquant la veine colique gauche
(White, Robert, Parry 2016)

ii) Principales communications avec la veine azygos

Shunt gastro-azygos gauche

Les différentes études anatomiques des shunts extrahépatiques ont montré que les shunts porto-azygos sont rares chez le chat. Chez le chien, 17 % des shunts extrahépatiques émanant de la veine gastrique gauche communiquent avec la veine azygos (White, Parry 2013). Anatomiquement, le vaisseau anormal est en continuité avec la veine gastrique gauche. Il continue caudalement puis cranio-dorsalement pour rejoindre la veine azygos au niveau du hiatus aortique (Figure 13). La veine phrénique gauche quant à elle suit un trajet normal et afflue dans la veine cave caudale post-hépatique au niveau du foramen cave (White, Parry 2013).

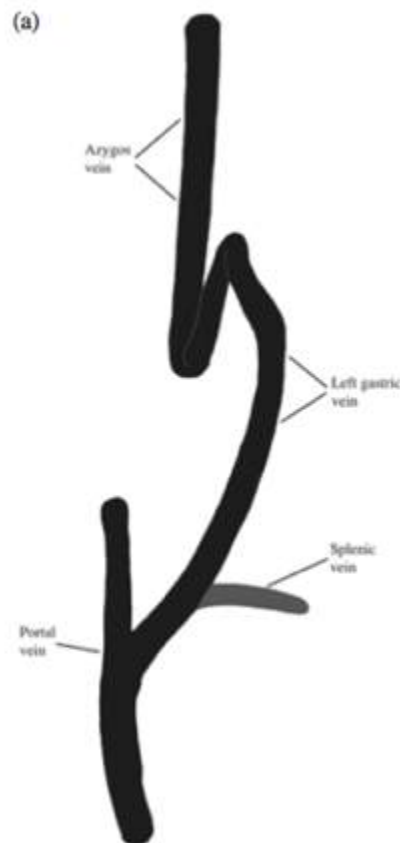


Figure 13 : Représentation schématique des shunts gastro-azygos gauches (White, Parry 2013)

Implication de la veine gastrique droite dans les shunts gastro-azygos

Ce type de shunt est peu décrit dans la littérature. Le cas d'un chien a été décrit en 2011 puis repris par White et Parry en 2015 dans leur classification des shunts extrahépatiques impliquant la veine gastrique droite (White, Parry 2015). Anatomiquement, ce shunt est formé de deux boucles :

- La veine gastroduodénale s'étend sur la gauche et dorsalement jusqu'à rejoindre la veine azygos.
- La veine gastrique gauche, plus petite, arrive depuis la veine splénique et rejoint le premier vaisseau le long de la petite courbure de l'estomac.

La veine gastrosplénique elle, communique normalement avec la veine porte (Nelson, Nelson 2011).

Shunt spléno-azygos ou gastrospléno-azygos

Ce type de shunt a été décrit chez 8 chiens par Nelson et Nelson en 2011. De la même façon que pour les shunts spléno-caves, une veine gastro-splénique élargie communique avec la veine porte. La veine splénique affluente est réduite alors que le vaisseau anormal chemine crânialement et dorsalement en décrivant un chemin tortueux jusqu'à rejoindre la veine azygos. Une branche veineuse de la petite courbure de l'estomac rejoint le shunt (Nelson, Nelson 2011).

iii) Principale communication avec la veine phrénique gauche

Une communication anormale impliquant la veine phrénique gauche a été décrite en 2011 par Nelson et Nelson. Ils qualifient ce shunt de spléno-phrénique (Nelson, Nelson 2011). En 2013, White et Parry précisent l'anatomie de ce type de shunt. Le vaisseau anormal émane de la veine gastrique gauche et rejoint la veine phrénique gauche au niveau du hiatus œsophagien. Cette veine phrénique est dilatée et chemine médialement le long de la surface caudale du diaphragme avant d'affluer dans la veine cave caudale avec un angle de 90° (Figure 14). Ils décrivent cette terminaison phrénique chez 61% des chiens et 70% des chats avec un shunt originaire de la veine gastrique gauche (White, Parry 2013).

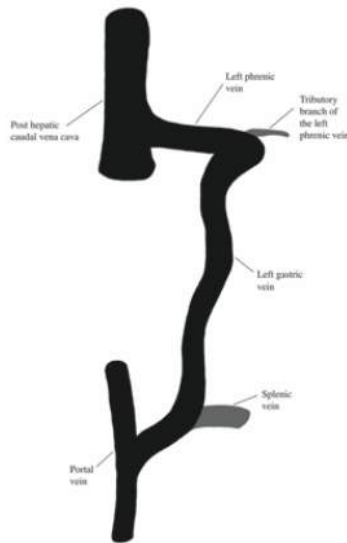


Figure 14 : Représentation schématique des shunts impliquant la veine phrénique gauche (White, Parry 2013)

B) Shunts portosystémiques acquis

Les shunts portosystémiques peuvent également être acquis. C'est le cas pour 20% des chiens atteints de shunt portosystémique (Berent, Tobias 2009). On parle de shunt acquis car ils sont secondaires à une hypertension portale chronique (Berent, Tobias 2009; Bertolini 2010; Santilli, Gerboni 2003). En effet, de multiples communications vasculaires porto-caves et porto-azygos non fonctionnelles existent chez l'animal sain et peuvent devenir fonctionnelles lors d'augmentation de la pression porte (Van den Bossche, Van Steenbeek 2016). On qualifie ces communications de « circulation collatérale » et elles se développent comme une réponse compensatoire à l'hypertension (Bertolini 2010; Ferrell et al. 2003).

L'hypertension portale résulte le plus fréquemment d'une augmentation de résistance à l'écoulement du flux veineux au sein de la veine porte. Un flux hépatofuge se met en place et induit le changement de ces vaisseaux collatéraux en anastomoses fonctionnelles. Parmi les causes d'augmentation de cette résistance on peut retenir les plus fréquentes :

- Des causes congénitales : hypoplasie ou atésie de la veine porte, fistules artérioveineuses.
- Des causes acquises : maladies hépatiques sévères ou chroniques telles qu'une hépatite, une cirrhose, un phénomène néoplasique, une fibrose idiopathique, une hypertension portale idiopathique non cirrhotique ou la ligature d'un shunt congénital (Ferrell et al. 2003; Santilli, Gerboni 2003).

Anatomiquement, ces shunts sont donc formés de multiples vaisseaux, tortueux et extrahépatiques (Berent, Tobias 2009). Le plus souvent, on les retrouve dans la région rénale et certains auteurs décrivent plus précisément une localisation autour du rein gauche (Ferrell et al. 2003; Leeman et al. 2013). Ils peuvent également prendre la forme d'un vaisseau long et tortueux entre la veine splénique et la veine rénale gauche (Figure 15) (Leeman et al. 2013).

La gestion thérapeutique qui en découle étant différente, connaître ces différences anatomiques est important. Ainsi, lors de shunts extrahépatiques, il est primordial de déterminer si ces shunts sont acquis ou congénitaux, même si, comme nous l'avons vu, la présence de shunts extrahépatiques congénitaux multiples est rare (Leeman et al. 2013). Enfin, il faut garder à l'esprit que de multiples variations sont possibles. Des cas atypiques ont été décrits dans la littérature comme par exemple la présence simultanée chez deux chiens de shunts congénitaux et de shunts acquis (Ferrell et al. 2003).

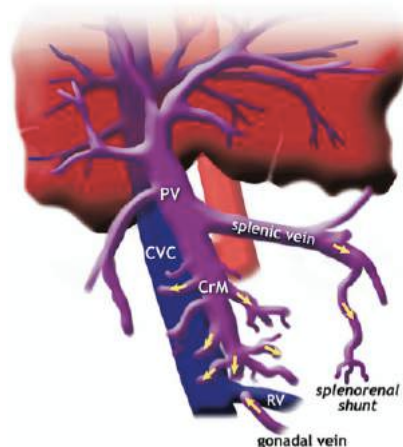


Figure 15 : Représentation schématique des shunts portosystémiques acquis
PV : veine porte, CVC : veine cave caudale, RV : veine rénale gauche, CrM : collatérales multiples ; les flèches jaunes représentent le flux hépatofuge
(D'Anjou 2007)

Ainsi, les shunts portosystémiques peuvent avoir des morphologies très différentes selon leur origine (congénitale, acquise) et leur localisation (intra-hépatique, extra-hépatique). En clinique, face à des signes peu spécifiques, le vétérinaire peut s'orienter vers des méthodes d'imagerie dans un premier temps assez généralistes telles que la radiographie abdominale ou l'échographie abdominale. Lorsque la suspicion est plus forte, une technique parmi l'échographie, l'angiographie, la scintigraphie, le scanner ou l'IRM peut permettre la mise en évidence de l'anomalie vasculaire.

II- Radiographie

1) Radiographie classique

La prise de cliché radiographique est souvent une première étape dans le cheminement diagnostique. En effet, face à des symptômes digestifs ou urinaires peu spécifiques la radiographie fait partie intégrante de la démarche du clinicien (Tivers, Lipscomb 2011).

A) Principe

a) Propriétés et formation des rayons X

Les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques ionisants. Ils ont donc pour principales caractéristiques :

- De hautes fréquences
- De faibles longueur d'onde
- Une haute énergie

Ils possèdent ainsi des propriétés communes à toute onde électromagnétique et des propriétés propres (*Tableau 1*).

Propriétés des ondes électromagnétiques	Propriétés propres aux rayons X
Propagation possible dans le vide	Pénétration de la matière (absorption à des degrés différents selon la nature du milieu et l'énergie des photons)
Trajet en ligne droite	Capacité à créer une image latente sur un film photographique
Vitesse commune dans le vide ($3 \cdot 10^8$ m/s)	Engendre la fluorescence des cristaux de certaines substances
Interaction avec la matière : absorption ou dispersion	Ionisant : formation de radicaux libres, nuisible pour des tissus sains

Tableau 1 : Principales propriétés des rayons X
D'après Holloway, McConnell 2013

Pour obtenir un rayon X, il faut projeter un électron à grande vitesse sur un atome. Dans l'appareil radiographique utilisé en pratique vétérinaire, les rayons X sont produits au sein d'un tube. Ce dernier contient une anode chargée positivement et une cathode chargée négativement. La cathode est constituée d'une spirale métallique en tungstène et est soumise à un petit courant électrique. Le nuage d'électrons ainsi formé doit être accéléré à haute vitesse sur la courte distance qui le sépare de l'anode. Cette accélération est réalisée en appliquant une grande différence de potentiel électrique entre la source et la cible (ce potentiel est mesuré en kilovolts). Les électrons arrivent ainsi à grande vitesse sur l'anode et entrent en collision avec les atomes qui la constituent. Attirés par la charge positive des noyaux, les électrons sont ralentis et déviés. Cette perte d'énergie brutale est à l'origine de l'émission d'un rayonnement X (Holloway, McConnell 2013).

b) Paramètres de la machine

Nous l'avons vu précédemment, l'anode et la cathode sont soumis à une grande différence de potentiel électrique mesuré en kilovolts (kV). Ce paramètre détermine donc la vitesse et l'énergie avec laquelle les électrons bombardent la cible et par conséquent la qualité ou le pouvoir de pénétration du rayonnement X produit.

De plus, le nuage d'électrons constitue lui même un faible courant électrique au sein du tube. Ce courant est mesuré en milliampères (mA) et multiplié par la durée d'exposition il reflète la quantité totale de rayons X émis (mAs) (Holloway, McConnell 2013).

c) Interactions des rayons X avec les tissus

Le degré d'absorption des rayons X par un tissu dépend de trois facteurs principaux :

- Le numéro atomique des atomes constituant ce tissu,
- La densité du tissu,
- L'épaisseur du tissu.

En effet, quand un rayon X interagit avec la matière, son intensité est atténuée par deux mécanismes : l'absorption et la dispersion.

L'absorption est aussi appelée effet photoélectrique. Cet effet augmente proportionnellement au numéro atomique du tissu traversé. Il se produit lorsqu'un photon d'un rayon X incident passe à proximité d'un électron d'une couche atomique interne (K) avec une

énergie supérieure à l'énergie de liaison de l'électron. L'électron est éjecté (on parle de photoélectron) de son orbite et le photon cède toute son énergie. Le photoélectron parcourt une courte distance dans le tissu et perd son énergie cinétique en chaleur. La place laissée libre dans l'orbite interne est rapidement comblée par un électron d'une couche externe. En changeant d'orbite, cet électron émet un photon (rayon X de très faible énergie). Il en résulte cinq nuances visibles : le gaz, le tissu adipeux, le tissu mou ou les fluides, l'os et le métal.

La dispersion, aussi appelée effet Compton, a lieu lorsque des photons incidents interagissent avec des électrons peu liés dans le tissu traversé. Les photons incidents perdent ainsi une petite partie de leur énergie et continuent leur chemin dans des directions aléatoires. L'électron éjecté quant à lui parcourt une petite distance et perd son énergie cinétique en chaleur. La quantité de photons dispersée est proportionnelle au volume de tissu traversé et aux kV. Ainsi, cet effet n'est pas réellement un problème chez le chat, les petits chiens ou pour les radiographies d'extrémités. En revanche, pour des kV supérieurs à 65-70, la quantité d'énergie des radiations dispersées augmente et les photons peuvent sortir du corps du patient. Cet effet pose deux grands problèmes :

- Un potentiel danger pour l'imageur,
- Un noircissement uniforme de l'image à l'origine d'une diminution du contraste et de la définition (Holloway, McConnell 2013).

d) Acquisition d'une image

Le rayon X est donc soumis à différentes absorptions lorsqu'il traverse le corps de l'animal. Ce sont ces différences d'absorption qui doivent être enregistrées afin de créer une image visible et permanente.

Conventionnellement, le film radiographique est le support de base capable de fixer cette image. L'émulsion est la couche du film responsable de la production de l'image. Il s'agit de gélatine et de bromure d'argent qui réagit chimiquement lors de l'arrivée des photons. L'image latente est ensuite rendue visible par un processus chimique en plusieurs phases.

Les avancées technologiques ont permis le développement de nouvelles méthodes d'acquisition et de stockage des images radiographiques. Ainsi, des capteurs convertissent le pattern de photons incidents en un signal électrique. Ce dernier peut être digitalisé et crée ainsi une image à partir de petits rectangles arrangés en matrice (pixels) (Holloway, McConnell 2013).

B) Mise en pratique

En pratique afin de réaliser une radiographie abdominale, il est préférable que l'animal ait fait ses besoins avant. Son poil doit être propre et sec afin d'éviter les artefacts et l'on prendra soin de retirer tout collier ou harnais.

Avant toute mise en place, il convient de mesurer l'épaisseur de la zone à radiographier. Pour ces clichés abdominaux on mesurera donc la profondeur de l'abdomen pour une vue de face et la largeur pour une vue de profil. Ces mesures permettent de régler au mieux les constantes sur l'appareil radiographique et de limiter ainsi le nombre de clichés pour obtenir une image satisfaisante. Si besoin, une grille anti-dispersion peut être placée entre l'animal et la cassette ou le capteur afin de limiter l'effet Compton.

Tout opérateur doit être conscient des principes de radioprotection :

- Tout cliché doit être justifié,
- Aucune dose limite ne doit être dépassée,
- Le personnel doit réduire au maximum son exposition : limiter les répétitions et le temps d'exposition, porter des équipements de protection individuels.

L'animal doit être contenu dans des positions précises. Limiter le stress est un paramètre important. On pourra si besoin avoir recours à une sédation voire une anesthésie générale pour les patients les moins calmes. Les objectifs du positionnement sont de limiter la distorsion, minimiser la pénombre, assurer un centrage correct et gérer le grossissement. Pour la prise d'un cliché latéral droit, l'animal sera couché sur son côté droit (et inversement pour un latéral gauche). Les pattes arrières sont tirées caudalement. Le cliché est centré à environ deux doigts de la dernière côte à mi chemin entre l'ombilic et les vertèbres lombaires. Il doit inclure le diaphragme crânialement (2-3ème côtes), le grand trochanter du fémur caudalement, les vertèbres, et la paroi abdominale ventralement. Pour une vue ventro-dorsale, l'animal est positionné en décubitus dorsal, en prenant soin d'éviter toute rotation axiale. Les pattes arrières sont de préférence en position neutre. L'image est centrée sur l'ombilic. Elle inclut le diaphragme (2-3 côtes) crânialement, le grand trochanter caudalement et les parois abdominales latéralement (Holloway, McConnell 2013).

C) Images normales

Sur des images radiographiques, le foie se caractérise par une opacité homogène tissulaire dans l'abdomen crânial. La silhouette hépatique, chez les animaux sains, ne dépasse quasiment

pas l'arc costal. Ainsi crânialement elle est délimitée par le diaphragme et caudalement par l'estomac. L'axe gastrique doit être approximativement parallèle aux côtes sur une vue de profil et perpendiculaire à la colonne vertébrale sur une vue ventro-dorsale. Sur une vue latérale, le bord caudo-ventral du foie doit être bien défini et anguleux. Chez les jeunes animaux, le foie apparaît relativement plus gros et peut dépasser de l'arc costal.

Les reins, quant à eux, sont d'opacité tissulaire, dans l'espace rétro péritonéal dans l'abdomen moyen. Leur évaluation est principalement réalisée sur une vue ventro-dorsale. Chez le chien, la taille normale des reins est de 2,5 à 3,5 fois la longueur de la vertèbre lombaire 2 (L2). Chez le chat, cette taille varie entre 1,9 et 2,6 fois L2 chez le chat stérilisé et 2,1 à 3,2 L2 chez le chat entier.

D) Caractéristiques radiographiques lors de shunt

a) *Shunt portosystémique congénital*

Il est communément admis que pour investiguer des suspicions de shunts portosystémiques congénitaux, la radiographie conventionnelle est souvent décevante (Santilli, Gerboni 2003). Les seules caractéristiques qui peuvent être visibles sont :

- Une réduction du volume hépatique (Figure 16) (Santilli, Gerboni 2003; Washizu et al. 2004). Toutefois, le clinicien doit avoir en tête l'ensemble du diagnostic différentiel de la microhépatie : cirrhose, fibrose hépatique, shunt portosystémique mais aussi hernie diaphragmatique (Washizu et al. 2004).
Washizu *et al.* ont montré en 2004 qu'il existait bien une différence significative de l'aire hépatique entre des chiens atteints de shunts portosystémiques congénitaux et des chiens sains. Selon eux, cette aire hépatique est réduite d'environ 50% lors de shunt.
- Une néphromégalie (Santilli, Gerboni 2003).
- La présence de calculs vésicaux. Toutefois, les calculs d'urate sont généralement radiotransparents mais des calculs de composition mixte peuvent être minéralisés.
- Une perte de contraste abdominal chez des animaux en sous-poids (Tivers, Lipscomb 2011).

Ces résultats ne sont pas constants (Santilli, Gerboni 2003; Tivers, Lipscomb 2011). Une échographie abdominale, une portographie mésentérique, une scintigraphie, un scanner ou un IRM doivent être envisagés pour confirmer ou non le diagnostic (Holloway, McConnell 2013).



Figure 16 : Radiographies abdominales d'un chien atteint d'un shunt congénital porto-cave
A : profil latéral droit, B : vue ventrodorsale
(Anderson et al. 2010)

b) Shunt portosystémique acquis

Lors de shunt portosystémique acquis, les signes radiographiques visibles seront plutôt les signes de la cause du shunt que des signes imputables au shunt en lui-même. Ainsi rappelons qu'un shunt acquis peut être principalement secondaire à : une cirrhose hépatique, de l'hypertension portale non cirrhotique, une malformation artério-veineuse hépatique, une hypoplasie portale ou une cause néoplasique.

On peut donc retrouver des signes de cirrhose hépatique tels qu'une diminution de l'aire hépatique, la présence d'ascite secondaire à l'hypertension portale et éventuellement un effet masse pour les causes néoplasiques (Holloway, McConnell 2013).

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

Les principaux avantages de cette méthode résident dans le fait qu'elle est peu coûteuse, rapidement accessible et réalisable. De plus c'est un procédé non invasif, qui peut être réalisé

sur animal vigile et permet de visualiser l'ensemble de la cavité abdominale. En réalité, la radiographie n'apporte que peu voire pas d'informations spécifiques. C'est un examen complémentaire qui est réalisé en début de démarche diagnostique mais qui ne permet dans aucun cas le diagnostic de shunt portosystémique (Tivers, Lipscomb 2011).

2) Angiographie

A) Principe

L'angiographie a été le premier moyen sensible de diagnostic des shunts permettant leur identification et leur localisation. Historiquement, la portographie mésentérique est la méthode de choix pour le diagnostic des shunts portosystémiques (Thieman Mankin 2015). Elle utilise les grands principes et les propriétés de la radiographie classique mais se révèle plus spécifique et plus informative. Il s'agit de souligner le système porte via l'injection d'un produit radio-opaque dans un affluent de la veine porte. Ainsi, outre le diagnostic du shunt, la portographie mésentérique permet de décrire sa position et sa morphologie (Santilli, Gerboni 2003).

Toute angiographie repose sur le même principe mais plusieurs techniques sont décrites selon le site d'injection incluant la portographie mésentérique intra-opératoire, l'angiographie de l'artère mésentérique crâniale, la splénoportographie... Les études les plus récentes décrivent principalement la portographie mésentérique intra-opératoire.

B) Mise en pratique

Dans toutes les techniques d'angiographie, l'animal est mis à jeun durant 12 à 24 heures et reçoit un laxatif la veille de l'examen. Les produits de contraste utilisés sont des produits triiodés non ioniques (iohexol, iopamidol...) ou ioniques (ioxitalamate de sodium, ioxitalamate de méglumine...). Les premiers ont une meilleure innocuité mais se révèlent plus onéreux. Les produits ioniques peuvent être utilisés chez un animal correctement hydraté, sans insuffisance cardiaque ou rénale.

La portographie mésentérique suppose d'avoir un accès à une veine affluente de la veine porte. Cette méthode nécessite donc une anesthésie générale ainsi qu'une laparotomie ou une céliotomie. Pour une méthode par laparotomie, l'animal est placé en décubitus dorsal. Après

préparation aseptique chirurgicale, une petite incision le long de la ligne blanche permet d'extérioriser une portion de jéjunum (Figure 17). Un cathéter est placé dans une veine jéjunale et sécurisé à l'aide d'un point. Un prolongateur stérile est flushé à l'aide de chlorure de sodium stérile et relié au cathéter. 5 à 15 mL de produit de contraste iodé sont injectés via le cathéter. 2 à 4 secondes plus tard, 4 à 6 clichés radiographiques doivent être pris sur 6 à 10 secondes. Il est également possible de réaliser un enregistrement vidéo qui débute dès l'injection.



Figure 17 : Illustration de la technique de portographie mésentérique peropératoire (Tivers, Lipscomb 2011)

Une première série de vues ventro-dorsales est obtenue puis l'animal est placé en décubitus latéral et l'opération est répétée (Santilli, Gerboni 2003; Tillson, Winkler 2002). Scrivani *et al.* ont montré en 2001 que le côté du décubitus choisit n'influence pas significativement la sensibilité de l'examen mais le décubitus latéral gauche semble donner les meilleurs résultats (Scrivani et al. 2001). Toutefois certains auteurs décrivent la méthode avec un décubitus latéral droit (Santilli, Gerboni 2003). Ainsi, le choix du décubitus sera laissé à l'appréciation du clinicien.

Quelque soit la méthode, les images obtenues sont appelées portogrammes. Les opérateurs se servent ensuite d'échelles visuelles ou numériques afin d'évaluer la vascularisation hépatique (Figure 18). Lors de l'utilisation d'une échelle visuelle, l'opérateur doit placer subjectivement un curseur sur une ligne à la position qui représente le degré de développement de la vascularisation hépatique. Le degré zéro, tout à gauche de l'échelle, équivaut à une absence de vascularisation intrahépatique alors que le degré maximal, tout à droite, traduit une vascularisation normale. L'échelle numérique quant à elle est composée de 13 questions fermées dont le nombre final de « oui » attribue un score (Macdonald, Burton, White 2002).

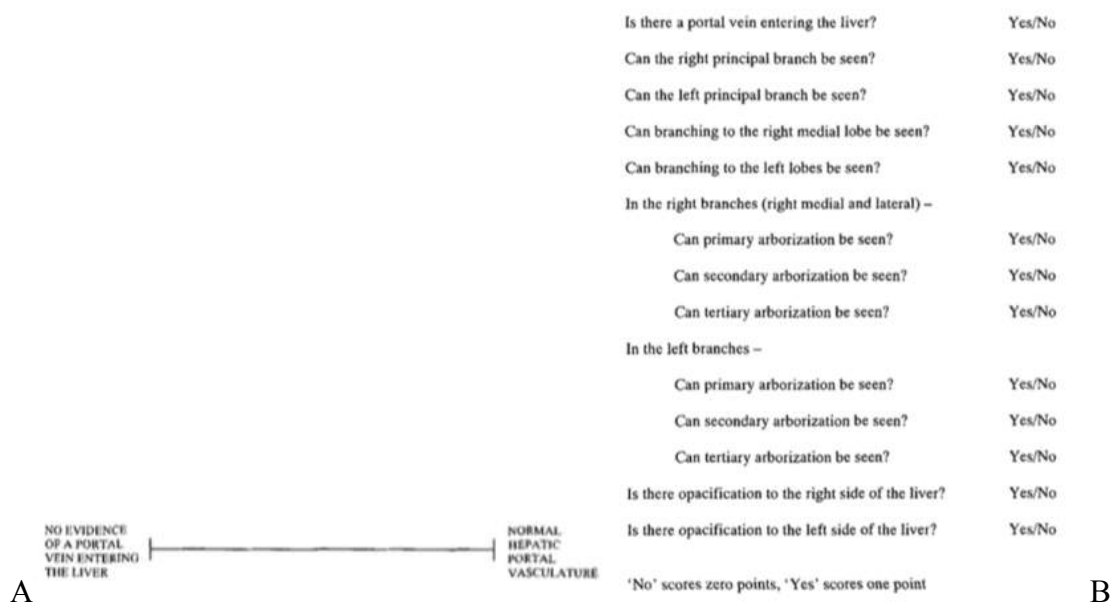


Figure 18 : Echelle visuelle et échelle numérique utilisées lors de portographie
 A : échelle visuelle, B : suite de questions de l'échelle numérique
 (Macdonald, Burton, White 2002)

Lors de shunt portosystémique, la manipulation peut être réalisée avant et après ligature du vaisseau identifié en tant que shunt (White, Macdonald, Burton 2003). En effet, il a été montré que l'évaluation de la vascularisation intrahépatique pré-ligature doit être interprétée avec précaution car le produit de contraste cheminera toujours par le chemin de plus faible résistance et donc via un shunt s'il est présent. Toutefois, une absence de contraste intrahépatique après ligature du shunt indiquerait une hypoplasie ou une atrésie portale. Ainsi, la réalisation d'une portographie mésentérique post-ligature complète temporaire permet de confirmer que le bon vaisseau a été identifié et d'évaluer l'état de développement de la vascularisation intrahépatique (White, Macdonald, Burton 2003).

C) Images normales

Chez un animal sain, une angiographie permet la visualisation de l'ensemble de la vascularisation hépatique. En effet, le produit de contraste injecté dans une veine mésentérique souligne la veine porte extrahépatique puis l'ensemble de la vascularisation porte intrahépatique laissant ainsi deviner les contours de la silhouette hépatique (Parry, White 2015). L'opérateur peut aisément voir la veine porte principale qui entre dans le foie, les branches gauche et droite ainsi que les arborisations primaires, secondaires et tertiaires de ces branches (Figure 19).

Il peut noter une opacification des lobes. L'ensemble de ces critères conduit à un score de 13/13 sur l'échelle numérique (Macdonald, Burton, White 2002).

Ainsi, quand tous les lobes hépatiques montrent une vascularisation normale sans contraste notable prématurément dans la veine cave caudale ou la veine azygos, l'hypothèse d'un shunt portosystémique peut être exclue (Tillson, Winkler 2002).

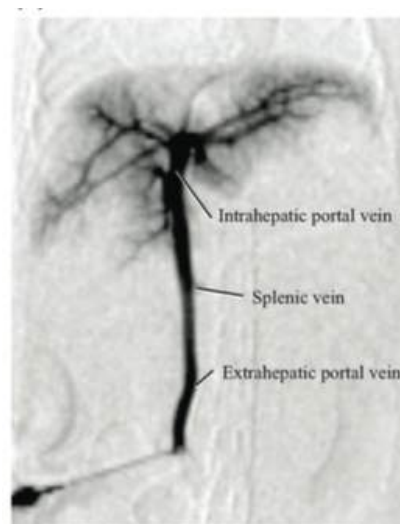


Figure 19 : Image normale de portographie mésentérique peropératoire
(Parry, White 2015)

D) Images lors de shunt portosystémique

Lors de shunt portosystémique, l'agent de contraste souligne la veine porte puis la veine cave caudale ou la veine azygos mais n'est pas visible dans l'aire de projection du foie. La silhouette hépatique est de contraste très faible voir nulle (Figure 20). Un vaisseau tortueux peut être visualisé partant du système porte. Parfois cette anomalie n'est visible que sur l'une des projections réalisées (Figure 21) (Tillson, Winkler 2002). Ainsi, la réalisation d'une portographie mésentérique peropératoire permet de mettre en évidence : une éventuelle circulation collatérale acquise, la direction du flux portal et la perméabilité de la veine porte et de ses branches. La nature dynamique et fonctionnelle de l'examen le rend beaucoup plus sensible et spécifique qu'une simple radiographie. La portographie pré-ligature permet de confirmer le nombre et la morphologie générale du shunt. La portographie post-ligature quant à elle confirme que le bon vaisseau a été identifié et donne des informations sur le développement de la vascularisation porte intra-hépatique (Figure 20) (White, Macdonald, Burton 2003).

Chez le chat et le chien, l'évaluation du nombre, de la distribution et du calibre des vaisseaux portes intrahépatiques post-ligature d'un shunt portosystémique simple permet d'obtenir un facteur pronostic sur l'évolution post-chirurgie. En effet, le degré d'opacification post-ligature est directement corrélé au suivi des acides biliaires, au nombre de systèmes affectés lors des examens de suivis, à la présence de signes neurologiques avant la chirurgie et à l'âge de l'animal. Cette opacification augmente immédiatement après atténuation du shunt et continue de progresser jusqu'à 13 mois post-chirurgie ce qui représente un développement de la vascularisation porte hypoplasique suite à l'augmentation de flux sanguin (Lee et al. 2006; Lipscomb et al. 2009).



Figure 20 : Portographie mésentérique en vue ventro-dorsale d'un chat atteint d'un shunt congénital gastro-cave gauche

a : visualisation d'un shunt, b : portographie post-ligature
 PV : veine porte, S : shunt, VC : veine cave caudale
 (Tivers, Lipscomb 2011)

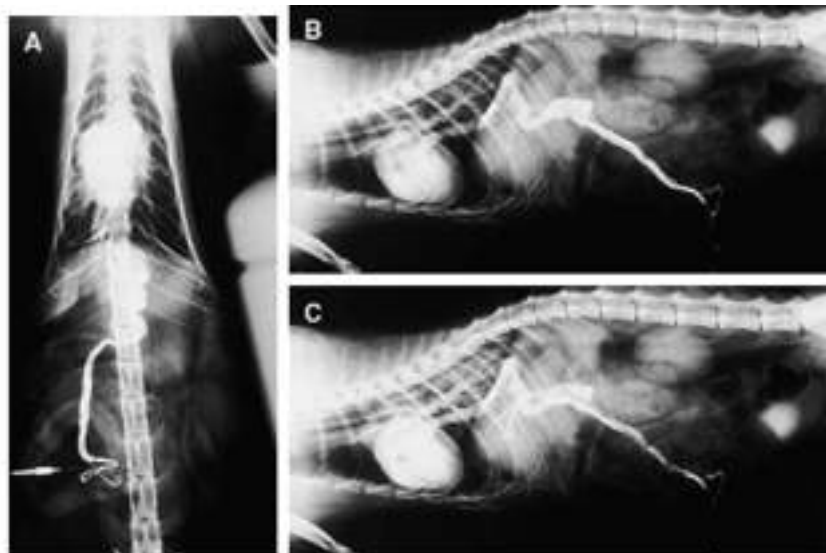


Figure 21 : Principales incidences lors d'une portographie mésentérique chez un chat atteint d'un shunt porto-cave

A : Vue dorso-ventrale, B : Vue latérale, C : Vue latérale plus tardive
 (Tillson, Winkler 2002)

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

Le principal avantage de la portographie mésentérique réside dans le fait qu'elle permet un diagnostic de certitude avec une localisation exacte peropératoire tout en éliminant l'hypothèse de la présence d'autres shunts. De plus, cette technique permet de mesurer la pression portale, paramètre indispensable au chirurgien pour envisager une ligature partielle ou complète du shunt. Enfin, si le diagnostic est positif, la prise en charge du shunt peut avoir lieu au cours de la même chirurgie et de la même anesthésie. Après atténuation, l'examen peut être répété pour s'assurer du succès de la ligature mais aussi pour évaluer le bon développement de la vascularisation intrahépatique, facteur pronostic positif (Thieman Mankin 2015; Tivers, Lipscomb 2011). Parry et White se sont attachés à montrer en 2015 que la définition de cette vascularisation intrahépatique est aussi précise et claire que lors de la réalisation d'un scanner (Parry, White 2015).

Toutefois, la portographie mésentérique est une méthode invasive qui nécessite une anesthésie et dans la plupart des cas une laparotomie (Santilli, Gerboni 2003). Le coût de l'examen est en général élevé et les interprétations peuvent être difficiles en fonction du positionnement de l'animal (Thieman Mankin 2015). De plus, la portographie nécessite un équipement radiographique spécifique en salle de chirurgie sans quoi il faut déplacer l'animal ce qui majore les risques anesthésiques, de contaminations et d'hémorragies peropératoires (White, Macdonald, Burton 2003). Enfin, si la visualisation de la vascularisation porte intrahépatique s'avère précise, la portographie ne permet pas de manière constante la visualisation de la vascularisation porte extrahépatique à la différence du scanner (Parry, White 2015).

III- Echographie

1) Echographie classique et méthode Doppler

A) Principe

a) *Formation de l'onde ultrasonore*

L'échographie est basée sur la propagation du son dans différents milieux. Pour cela, une sonde échographique, aussi appelée transducteur émet des ultrasons en convertissant l'énergie électrique qu'elle reçoit. Cette conversion d'énergie se base sur l'effet piézoélectrique. Son principe est que certains matériaux, comme les cristaux de quartz, ont la propriété de se comprimer lorsqu'ils sont chargés. Ainsi, en appliquant un courant alternatif à un cristal piézoélectrique, il se comprime et se décomprime alternativement et émet un son dont la fréquence dépend des caractéristiques du cristal. Chaque son émis par la sonde au contact de l'animal va « explorer » une ligne du milieu à étudier. Les sondes électroniques permettent un balayage sur une surface donnée. Une multitude de cristaux identiques sont juxtaposés en ligne droite (sondes linéaires), en arc de cercle (sonde linéaire courbe) ou en arc de cercle concentrique (sondes annulaires). Aujourd'hui, les appareils sont équipés de sondes microconvexes électroniques de 7.5 à 3.5 MHz et de plus en plus de sondes linéaires de haute définition de 7.5 à 15 MHz (Loriot 2011).

b) *Propagation au sein des tissus*

Chaque tissu traversé est caractérisé par une impédance acoustique (Z) qui représente sa tendance plus ou moins grande à « freiner » les ultrasons. On appelle interface acoustique la surface de séparation entre deux milieux d'impédance différentes. L'onde ultrasonore se propage en ligne droite et, selon les milieux traversés, elle peut être réfléchiée, diffusée ou atténuée :

- Réflexion : quand une onde ultrasonore passe d'un milieu a un autre, une partie de l'énergie incidente est réfléchiée. Ce phénomène dépend de la différence d'impédance acoustique entre les deux milieux traversés. Ainsi pour une différence faible, une toute

petite partie de l'énergie incidente est réfléchi, le reste est transmis et peut explorer les tissus plus profonds.

- Diffusion : quand une onde ultrasonore rencontre une cible de toute petite taille, une partie minime de son énergie est réémise dans toutes les directions de l'espace. Seuls les échos en direction de la sonde seront captés et ils seront de plus faible intensité que lors de la réflexion.
- Atténuation : en plus des phénomènes de réflexion et de diffusion, on constate une atténuation de l'onde ultrasonore qui dépend de la distance parcourue, de la fréquence d'émission et du milieu de propagation (Loriot 2011).

c) Formation de l'image

La sonde échographique n'émet pas des ultrasons en continu mais en salve. Pendant les temps où elle n'émet pas, elle devient un récepteur et capte les ultrasons réfléchis ou diffusés. Ainsi, les images d'interface sont formées par les ondes réfléchies. Elles se traduisent par une ligne échogène. Les images de tissus mous sont principalement formées via le phénomène de diffusion. On obtient donc une image granuleuse dont l'aspect dépend des caractéristiques structurales du tissu mais aussi des caractéristiques de la sonde et de l'échographe. Les tissus osseux ont une impédance acoustique très élevée ce qui résulte en une réflexion très importante. Il n'y a donc pas d'image derrière un tissu osseux. Les liquides s'ils sont purs transmettent parfaitement les ultrasons et apparaissent donc sur l'écran comme des zones vides d'écho (anéchoïques). Lorsque les liquides sont impurs on observera une image piquetée. Enfin, des altérations de l'image sont produites artificiellement par des phénomènes physiques de propagation des ultrasons. On parle d'artefacts et ils ne correspondent à aucune anomalie ou lésion :

- Réverbération : succession de courbes hyperéchogènes parallèles. Seul le premier écho correspond à une interface réelle
- Queue de comète : trait vertical hyperéchogène rencontré en présence d'air
- Cône d'ombre : zone anéchogène suite à une réflexion totale de l'onde
- Renforcement postérieur : image plus échogène en avant d'une structure qui n'atténue pas les ultrasons
- Miroir : images identiques symétriques par rapport à une ligne échogène (Loriot 2011).

d) Principes du Doppler

L'utilisation du Doppler en échographie est basé sur l'effet physique Doppler : quand une onde se déplace dans un milieu à partir d'une source fixe, vers un observateur fixe, sa longueur d'onde (λ_0) et sa fréquence (F_0) sont stables. Elles sont définies par : $\lambda_0 = C \times T_0$ et $F_0 = 1 \div T_0$ avec C la vitesse de propagation des ultrasons dans le milieu et T_0 la période. Si la source ou l'observateur se déplace, alors la longueur d'onde et la fréquence se modifient. Cette modification dépend alors de la vitesse (V) de l'élément mobile.

Lors de l'échographie vasculaire, la source représentée par la sonde échographique, est fixe et les globules rouges constituent l'élément mobile. La rencontre entre les ultrasons émis par la source et les hématies entraîne une modification de leur fréquence. Ainsi, lorsque le flux sanguin se dirige vers la sonde, la fréquence des échos réfléchis est augmentée. Lorsque le flux s'éloigne de la sonde, la fréquence des échos réfléchis est diminuée. Cette différence de fréquence ΔF est reliée à la fréquence initiale d'émission et à la vitesse du flux sanguin selon l'équation :

$$V = \frac{\Delta F \times C}{2F_0 \times \cos \theta}$$

avec θ l'angle entre le faisceau émis et le flux

Plus l'angle θ est élevé plus la vitesse du flux sanguin est sous-estimé . Ainsi, pour mesurer la vitesse maximale du flux, le faisceau émis doit être parallèle au flux. Toutefois lors de l'évaluation de la vascularisation hépatique il est difficile d'aligner le faisceau incident à l'axe des vaisseaux et un angle inférieur à 60° sera considéré comme bon (D'Anjou et al. 2004).

Le mode Doppler pulsé couple l'analyse graphique et auditive d'un volume échantillon donné. En fonction des repères échographiques visualisés en mode bidimensionnel, une zone est choisie (taille, profondeur). Un graphique représente le spectre de l'ensemble des vitesses sanguines relevées en temps réel. Elles sont enregistrées selon leur valeur absolue (en cm/s) et selon leur direction de part et d'autre de la ligne zéro. De plus, les vitesses les plus représentées sont les plus lumineuses : c'est la « modulation de brillance ». Enfin, l'analyse acoustique permet de caractériser le flux. Un flux laminaire a une tonalité douce alors qu'un flux turbulent a une tonalité rude et intense.

Lors de ces enregistrements, comme nous l'avons vu précédemment, la sonde est émettrice et réceptrice des ultrasons. La fréquence avec laquelle le cristal est activé définit la fréquence de répétition (PRF, pulse repetition frequency) et correspond au nombre d'émissions-

réceptions par seconde. Plus le volume échantillon est loin de la sonde, plus la PRF est faible et inversement. Il faut noter que la PRF détermine la vitesse maximale mesurable.

Le mode Doppler couleur est une représentation particulière du Doppler pulsé. Les signaux sont codés en couleur en fonction de trois paramètres : la direction du flux sanguin, sa vitesse, son caractère laminaire ou turbulent. Ainsi, les flux laminaires dirigés vers la sonde (antérogrades) sont en rouge, les flux laminaires rétrogrades, eux, sont en bleu. Les flux turbulents sont en vert ou en jaune. De plus, pour une même direction, plus la vitesse du flux est importante, plus le ton de la couleur est marqué. De même que pour le mode pulsé, la vitesse maximale mesurable est déterminée par la PRF. En effet, à partir d'une fréquence égale à $PRF/2$ on peut observer une inversion des couleurs. Cet artefact engendre des erreurs courantes d'interprétation des flux.

B) Mise en pratique

a) *Mise en pratique de l'échographie abdominale : généralités*

Plusieurs signes cliniques présents lors de shunts portosystémiques sont peu spécifiques et peuvent conduire le clinicien à réaliser une échographie abdominale dans le cadre de son diagnostic différentiel. C'est le cas par exemple des troubles gastro-intestinaux, des affections du bas appareil urinaire... Ainsi l'échographie est souvent dans un premier temps « généraliste » et concerne l'ensemble de la cavité abdominale. Elle peut dans un second temps, si les données confortent cette hypothèse, devenir une recherche plus spécifique de shunt.

Pour réaliser cette échographie, l'animal est placé en décubitus dorsal ou en position debout. Il est possible de recourir à une sédation voire une anesthésie générale si l'animal n'est pas coopératif. De plus la sédation facilite l'examen car elle rend l'abdomen souple et ralentit la respiration. L'abdomen est tondu des dernières côtes jusqu'au pubis et du gel échographique est appliqué sur la zone. Une mise à jeun de 12h est conseillée pour obtenir des images de qualité.

Pour chaque organe on réalise des coupes définies (transversales, paramédianes, médianes et frontales). De manière générale pour chaque organe on évalue : son échogénicité, ses contours, sa forme, sa taille, sa vascularisation et les nœuds lymphatiques associés.

b) *Mise en pratique : échographie hépatique*

Pour échographier le foie, chez les carnivores, il est nécessaire d'utiliser différentes fenêtres acoustiques via un abord sous-costal puis intercostal.

- Abord sous-costal : la sonde est placée en arrière du processus xiphoïde en direction cranio-dorsale, le plan de coupe étant perpendiculaire au plan médian. A partir de cette position, la sonde est orientée progressivement vers la colonne vertébrale pour couper le foie plus dorsalement. Le faisceau est également déplacé vers la gauche et vers la droite tout en restant perpendiculaire au plan médian. La sonde est ensuite pivotée de 90° pour obtenir des coupes parallèles au plan médian. Le foie est alors coupé dans sa hauteur et le même balayage dorso-ventral et latéro-latéral est réalisé.
- Abord intercostal : il permet l'étude de la face diaphragmatique du foie. La sonde peut être placée indifféremment à gauche ou à droite à plusieurs niveaux selon la conformation de l'animal (Loriot 2011).

c) *Mise en pratique : échographie du système porte*

Szatmari *et al.* ont décrit en 2004 un plan standard afin d'échographier le système porte chez le chien. Dans un premier temps, une échographie abdominale classique est réalisée. La vascularisation porte est ensuite évaluée en 7 points standards qui nécessitent l'utilisation du mode Doppler.

- Plan 1 : Le chien est positionné en décubitus latéral gauche et la sonde est placée dans un des espaces intercostaux caudal droit. Le but est de trouver l'espace intercostal au sein duquel seul le foie est visible. Sur cette fenêtre on peut également visualiser une section de l'aorte, de la veine cave caudale et de la veine porte. Si le rein droit est visualisé, la sonde est orientée plus crânialement ou déplacée dans un espace intercostal plus crânial. La présence de gaz dans le tractus digestif peut rendre difficile la visualisation de la veine porte. La sonde est alors déplacée dorsalement dans le même espace intercostal et dirigée ventro-médialement. La veine porte est relativement circulaire en coupe transversale. Son diamètre est mesuré à la porte du foie. Le diamètre de l'aorte quant à lui varie parfois visiblement en fonction du cycle cardiaque. C'est son diamètre maximal qui est relevé après plusieurs mesures successives. Enfin, la veine cave caudale est susceptible de changer de forme durant l'examen, notamment avec la pression appliquée par l'examineur via la sonde. La mesure est réalisée lorsque la

section en coupe transversale est le plus circulaire possible (Figure 22) (D'Anjou et al. 2004).

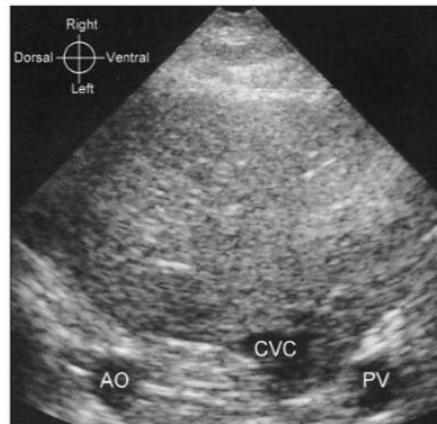


Figure 22 : Image échographique d'un animal sain lors du plan 1
AO : aorte, CVC : veine cave caudale, PV : veine porte
(Szatmari, Rothuizen, Voorhout 2004)

- Plan 2 : A partir du plan 1, la sonde est orientée ou glissée crânialement afin de suivre la veine porte jusqu'à obtenir une image longitudinale de la branche portale droite (Figure 23).

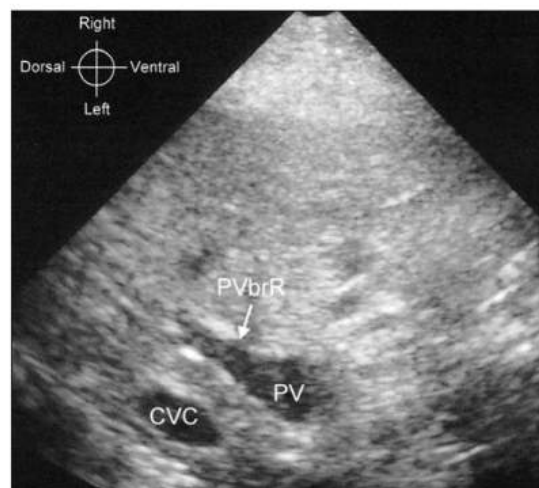


Figure 23 : Image échographique d'un animal sain lors du plan 2
CVC : veine cave caudale, PV : veine porte, PVbrR : branche portale droite
(Szatmari, Rothuizen, Voorhout 2004)

- Plan 3 : A partir du plan 2, la sonde est progressivement déplacée caudalement en gardant la veine porte et la veine cave caudale sur l'image jusqu'à observer l'artère mésentérique crâniale au départ de l'aorte. Cette étape est réalisée en mode B puis en Doppler couleur (Figure 24). Le but est de rechercher une connexion directe entre la veine porte et la veine cave caudale ou un vaisseau partant de la veine porte et ayant un flux hépatofuge.
- Plan 4 : la sonde est placée juste caudalement à la dernière côte et dirigée crânio-médialement pour obtenir des vues longitudinales de la veine porte et des branches droite et gauche. Pour trouver la veine porte, une coupe longitudinale de l'aorte, immédiatement ventrale aux vertèbres, est réalisée. La sonde est alors orientée ventralement jusqu'à ce que la veine cave caudale devienne visible. Une orientation encore plus ventrale permet d'obtenir une image longitudinale de la veine porte au point d'entrée de la veine splénique. Généralement, une pression plus importante sur la sonde permet de visualiser la bifurcation portale. Chez les chiens à thorax profond et les grandes races, la bifurcation portale ne peut pas être visualisée de cette manière. En repartant du plan 1, la sonde est pivotée à 90° pour obtenir une image longitudinale de la veine porte.

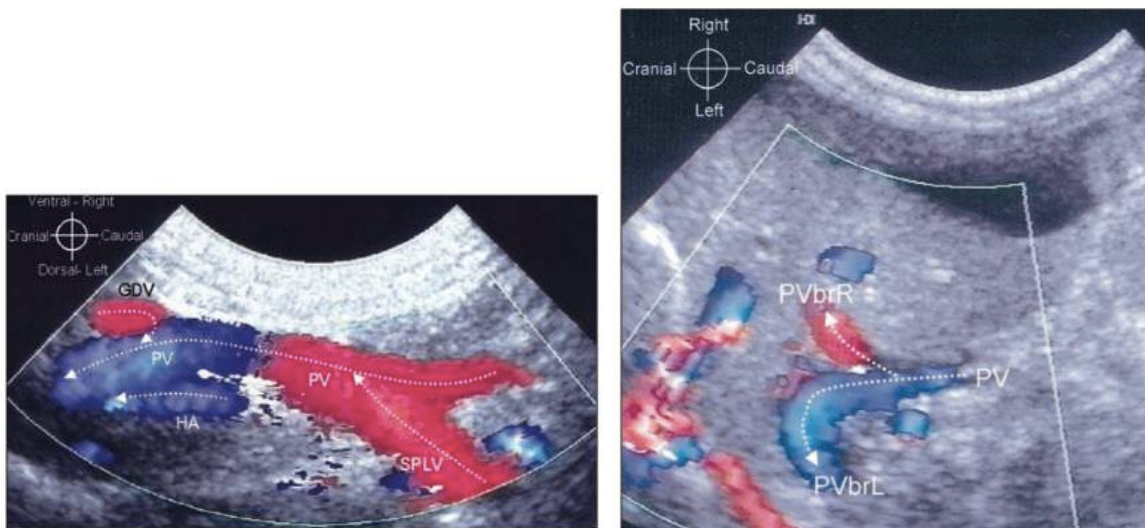


Figure 24 : Doppler couleur de la veine porte chez un chien sain

PV = veine porte ; SPLV = veine splénique ; HA = artère hépatique ; GDV = veine gastroduodénale ; PVbrR = branche porte droite ; PVbrL = branche porte gauche
(Szatmari, Rothuizen, Voorhout 2004)

- Plan 5 : Le chien est placé en décubitus dorsal et légèrement incliné vers l'imageur. Le rein droit et le lobe caudé sont échographiés dans un premier temps. La sonde est alors légèrement orientée ventro-médialement pour obtenir la veine cave caudale puis plus ventro-médialement pour visualiser la veine porte. Pour échographier la bifurcation portale, la veine porte est suivie plus crânialement.
- Plan 6 : Le chien est positionné en décubitus latéral droit et la sonde est placée juste caudalement à la dernière côte longitudinalement. La veine porte est visualisée à la porte du foie. Obtenir cette image est plutôt difficile et n'est nécessaire que si un shunt extrahépatique avec implication de la veine gastrique droite est suspecté lors du plan 3. Pour identifier un shunt gastro-cave droit, l'artère hépatique est suivie depuis son origine car cette artère croise obligatoirement le vaisseau du shunt si un shunt gastro-cave droit est présent. Afin d'identifier l'artère hépatique, l'imageur part de l'origine de l'artère cœliaque (départ de l'aorte, crânialement au rein gauche). L'artère hépatique est la branche la plus large de l'artère cœliaque, qui chemine crânialement jusqu'au foie entre la veine porte et la veine cave caudale. Le mode Doppler couleur peut être utile pour identifier cette artère hépatique, la vélocité du flux étant plus élevée que pour la veine cave caudale ou la veine porte.
- Plan 7 : La sonde est placée ventralement aux vertèbres lombaires et caudalement au rein gauche afin de visualiser la veine cave caudale en coupe longitudinale. En gardant cette coupe, la sonde est déplacée crânialement afin de visualiser l'entrée de la veine rénale gauche dans la veine cave caudale. L'entrée des veines testiculaires ou ovariennes dans la veine rénale gauche est ensuite recherchée si besoin à l'aide du Doppler couleur (Szatmari, Rothuizen, Voorhout 2004).

C) Images normales du foie et de sa vascularisation

La taille et les contours du foie sont les premiers éléments à étudier. Chez le chien et le chat, le foie n'est pas visualisé dans son intégralité sur une seule coupe ce qui rend sa mesure impossible. De plus, son épaisseur varie en fonction de l'angle d'incidence. Ainsi, la taille du foie est évaluée subjectivement. Les contours d'un foie sain sont lisses et réguliers, la lobation n'est pas visible. Le parenchyme hépatique a une échogénicité mixte et homogène. On retrouve de nombreux échos plus ou moins denses qui correspondent aux éléments qui le composent (vaisseaux, canaux biliaires, graisse, espaces interstitiels...).

Les vaisseaux sont de forme canalaire dans la longueur, ronds en coupe transversale et anéchogènes. On distingue :

- Les vaisseaux portes qui se caractérisent par une lumière délimitée par une pseudo paroi hyperéchogène qui correspond à l'espace périportal contenant les artères hépatiques, les canalicules biliaires et les nerfs (Loriot 2011). Les branches portes sont uniformément distribuées dans tous les lobes du foie. Leur diamètre est évalué subjectivement (D'Anjou 2007).
- Les veines hépatiques anéchogènes, sans paroi, se situent dorsalement à la veine porte.

La veine porte principale atteint son diamètre maximal à la porte du foie où elle approche le diamètre de l'aorte et de la veine cave caudale. Chez les animaux sains, elle mesure en moyenne 0,49 cm chez le chien et 0,44 cm chez le chat. Toutefois, ces diamètres sont significativement reliés au poids de l'animal c'est pourquoi plusieurs auteurs recommandent l'utilisation d'un ratio entre la lumière de la veine porte (VP) et celle de l'aorte (Ao). Chez les animaux sains, ce ratio est compris entre 0,7 et 1,25 (Tableau 2) (D'Anjou 2007; D'Anjou et al. 2004). Les artères hépatiques ne sont pas visibles chez un animal sain. De même, les canaux biliaires intra-hépatiques ne sont pas visibles à l'état normal. Seule la vésicule biliaire est identifiée. Sa paroi est peu visible et n'excède pas 2,5 mm (Loriot 2011).

Les différents affluents de la veine porte peuvent également être échographiés. Toutes les branches affluentes sont, chez un animal sain, de plus petit diamètre que la veine porte principale, qui, elle, devient de plus en plus large à mesure qu'elle se rapproche de l'entrée du foie. Le flux sanguin dans l'ensemble de ces veines est hépatopète (D'Anjou 2007).

Enfin, le diamètre aortique et de la veine cave caudale sont en corrélation avec le poids de l'animal chez les animaux sains. La veine azygos normale n'est pas visible à l'échographie chez le chien et le chat (D'Anjou 2007).

Le mode Doppler aide à l'identification des principaux vaisseaux hépatiques par leurs caractéristiques de flux :

- Le flux sanguin de la veine porte est continu, de basse vitesse et hépatopète. Le spectre Doppler est donc large (grande gamme de vitesses) et constant, sans pulsativité. Une respiration haletante peut toutefois donner une allure phasique au Doppler. L'utilisation du mode Doppler permet de mesurer la vitesse maximale du flux au sein de la veine porte en cm/s. L'échographe peut également donner, par simple calcul à partir de cette vitesse maximale et du diamètre de la veine porte, la vitesse moyenne du flux en cm/s et le flux portal moyen en mL/min/kg. La vitesse moyenne normale du flux portal est

de 15-20 cm/s chez le chien et 10-18 cm/s chez le chat. Le flux portal moyen varie de 22 à 63 mL/min/kg chez les animaux sains (Tableau 2). Il augmente physiologiquement après un repas et diminue après un exercice ou lors d'une anesthésie générale (D'Anjou 2007; D'Anjou et al. 2004).

- La veine cave caudale et les veines hépatiques dans leurs parties les plus crânielles subissent les conséquences de l'activité cardiaque et des variations de pression intrathoracique. Ainsi, le spectre Doppler prend une allure pulsée à valeurs négatives.
- L'aorte est caractérisée par une pulsativité marquée visible aussi en mode bidimensionnel.

Paramètre échographique	Mesure/calcul	Valeurs usuelles
Diamètre veine porte	Mesure à la porte du foie	0,49 cm chien 0,44 cm chat
VP/Ao	Mesure des diamètres puis calcul du ratio	(0,7-1,25)
Vitesse maximale flux portal (Vmax)	Mesure par le doppler	/
Vitesse moyenne flux portal	$V_{max} * 0,57$	(15-20 cm/s) chien (10-18 cm/s) chat
Flux portal moyen	$(V_{max} * 0,57 * 60 * VP_{section}) / Poids\ animal$	22-63 mL/min/kg

Tableau 2 : Paramètres échographiques et valeurs usuelles
D'après D'Anjou 2007 et D'Anjou et al. 2004

D) Images échographiques lors de shunt portosystémique

Outre la visualisation du vaisseau anormal, un grand nombre de paramètres sont à évaluer lors de l'échographie abdominale et peuvent orienter l'imageur sur la présence d'un shunt, sa localisation, ses caractéristiques hémodynamiques et sa morphologie. Tous ces éléments sont importants à prendre en compte non seulement pour le diagnostic d'un shunt mais aussi pour l'éventuelle prise en charge chirurgicale qui en découle (Santilli, Gerboni 2003; Thieman Mankin 2015; Tivers, Lipscomb 2011).

D'Anjou M.A. établit en 2007 une liste de questions qui doivent trouver réponse lors de l'échographie :

- Peut-on identifier un shunt ou un changement concernant la veine porte principale ou ses ramifications ?
- Le shunt est-il intra ou extrahépatique ?
- Est-il simple ou multiple ?
- Dans quel vaisseau se termine le shunt ? est-il atteignable chirurgicalement ?
- Peut-on identifier des signes d'hypertension portale ? Si oui peut-on identifier la cause de cette hypertension ?
- L'échographie abdominale présente-t-elle d'autres anomalies ?

Les auteurs décrivent une approche en 10 étapes afin de répondre au maximum de ces questions (D'Anjou 2007).

a) *Ascite et œdème*

La majorité des cas de shunts portosystémiques congénitaux sans hypertension portale associée, ne présentent pas de fluides dans la cavité péritonéale ou présentent un épanchement modéré. En revanche, chez les animaux atteints d'hypertension portale avec ou sans shunt acquis, un épanchement abdominal pourra être mis en évidence lors de l'échographie, particulièrement en cas d'hypoalbuminémie concomitante (Figure 25). De plus, dans ces cas, l'hypertension portale peut provoquer de l'œdème des structures abdominales (paroi de la vésicule biliaire, pancréas, tube digestif ...) (D'Anjou 2007). Toutefois, l'hypertension portale ne peut pas être exclue sur simple absence d'ascite (Szatmári et al. 2004). Echographiquement, on retrouve en cas d'ascite des plages anéchogènes rendant visible la lobation hépatique.

Dans le cadre d'une recherche de shunt portosystémique congénital, D'Anjou *et al.* ont montré en 2004 que la présence d'ascite à l'échographie avait une sensibilité de 29% et une spécificité de 93% (étude réalisée sur 131 chiens et 27 chats avec suspicion clinique) (D'Anjou et al. 2004).

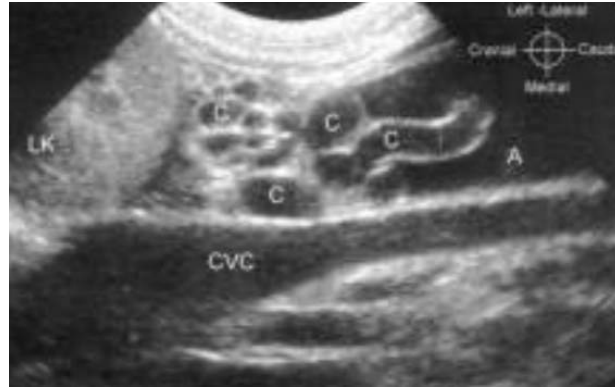


Figure 25 : Image échographique d'un cas de shunts portosystémiques multiples acquis
 CVC = veine cave caudale ; C = vaisseaux collatéraux ; LK = rein gauche ; A = ascite
 (Szatmári et al. 2004)

b) Taille du foie, échogénicité

Comme nous l'avons vu précédemment, la taille du foie est évaluée subjectivement. L'imageur est attentif à sa forme, ses contours, à la distance entre l'estomac et le diaphragme ainsi qu'à une éventuelle extension caudalement à l'arc costal, tout en considérant la conformation générale de l'animal examiné.

La microhépatie, souvent visible à la radiographie, peut être retrouvée en échographie. Dans ce cas, la rate est souvent déplacée crânialement et le foie est difficile à voir même avec une bonne fenêtre acoustique et un tractus gastro-intestinal vide. La vésicule biliaire peut également paraître plus volumineuse en rapport au peu de parenchyme hépatique qui l'entoure. Pour une raison inexplicée, la microhépatie notée à l'échographie est généralement plus significative chez les chiens atteints de shunts congénitaux (D'Anjou 2007). Une microhépatie peut également être notée lors de shunt acquis dans un contexte d'hépatite chronique, d'hypertension portale avec ou sans cirrhose. Toutefois, un foie de taille normale ne permet pas d'exclure la présence d'un shunt qu'il soit congénital ou acquis. En effet, dans une étude de 2004, une microhépatie caractérisée à l'échographie est rapportée avec une sensibilité de 86% et une spécificité de 69% pour les shunts congénitaux chez le chien (D'Anjou et al. 2004).

Le parenchyme hépatique est généralement uniforme et d'échogénicité normale chez les chiens et les chats atteints de shunts portosystémiques congénitaux. En revanche, en cas de shunt acquis secondaire à une hépatite chronique ou une cirrhose on peut mettre en évidence des zones hétérogènes et éventuellement des formations nodulaires associées (D'Anjou 2007).

c) Veines portes intrahépatiques

Lors de l'échographie du foie, l'imageur évalue la vascularisation porte intrahépatique et notamment sa distribution, sa symétrie, la forme et la taille des vaisseaux. Lors de shunt portosystémique, avec la diminution du flux portal, les branches portes intrahépatiques sont généralement petites et peuvent même être difficiles à identifier (D'Anjou 2007). Toutefois ce critère reste subjectif et il n'existe pas de quantification précise et fiable. La vascularisation porte peut être qualifiée de normale, atténuée ou élargie. Une atténuation des branches portales a ainsi pu être mise en évidence avec une sensibilité de 38% et une spécificité de 100% chez le chien (D'Anjou et al. 2004).

En évaluant cette vascularisation intrahépatique, un shunt portosystémique peut être mis en évidence (Figure 26). Ainsi, un vaisseau anormal qui se courbe vers la gauche (à l'opposé de la sonde lors d'une approche intercostale droite) est compatible avec un shunt à division gauche. On peut typiquement mettre en évidence une large ampoule veineuse dans laquelle se termine la veine hépatique gauche avant de rejoindre la veine cave caudale. A l'inverse, un shunt intrahépatique à division droite peut être suspecté lorsqu'un vaisseau anormal se courbe en direction de la sonde avec une approche intercostale droite. Les shunts à division centrale peuvent être plus délicats à identifier, surtout chez les grands chiens. La veine porte peut paraître élargie focalement et associée à un vaisseau court relié à la veine cave caudale. Cette liaison peut également se faire via un foramen si les deux vaisseaux sont très proches (D'Anjou 2007).



Figure 26 : Images échographiques de shunts intrahépatiques

A : Shunt à division gauche et scanner de contraste correspondant, B : Shunt central, C : Shunt à division droite

GB : vésicule biliaire, PSS : shunt portosystémique, CVC : veine cave caudale, PDV : persistance du *ductus venosus*
(D'Anjou 2007)

d) Veine porte principale

i) Diamètre

La veine porte principale est caractérisée par un diamètre augmenté au cas de shunt intrahépatique chez le chien (en moyenne 0,90 cm). Ce diamètre est réduit en cas de shunt portosystémique extrahépatique chez le chien et le chat. En effet, D'Anjou *et al.* rapportent en 2004 des diamètres moyens de 0,35 cm lors de shunt porto-azygos chez le chien, 0,38 cm lors de shunt porto-cave chez le chien et 0,27 cm en cas de shunt extrahépatique chez le chat. De même, il a été montré que le ratio VP/Ao défini précédemment est significativement diminué chez les animaux atteints de shunt extrahépatique (0,57 en cas de shunt porto-cave et 0,54 en cas de shunt porto-azygos). Chez le chien, l'utilisation de ce ratio apporte une meilleure valeur prédictive que l'utilisation du diamètre de la veine porte seul (D'Anjou *et al.* 2004).

De manière plus globale, la veine porte est plus petite crânialement à l'origine du shunt et surtout crânialement à l'affluence de la veine gastroduodénale en réponse au déversement du flux dans la circulation générale. Il en découle qu'un shunt portosystémique congénital extrahépatique peut être exclu dès lors que le ratio VP/Ao est supérieur ou égal à 0,8 et que la veine porte a bien été identifiée (D'Anjou 2007).

ii) Vitesses moyenne et maximale du flux

Les vitesses moyennes et maximales du flux portal sont généralement altérées lors de shunt portosystémique. La vitesse moyenne augmente en cas de shunt intrahépatique excédant parfois les 50 cm/s (Figure 27). Cette augmentation marquée peut être attribuée au fait que la mesure est réalisée caudalement au shunt (à la porte du foie), la résistance du flux est donc diminuée. Cette caractéristique est notée chez environ 80% des chiens atteints de shunts intrahépatiques (D'Anjou *et al.* 2004). A l'inverse, lors d'un shunt extrahépatique, la vitesse moyenne du flux portal est souvent réduite (moins de 15 cm/s) et le flux portal peut même être reversé (Figure 27). En effet, dans ce cas, une grande partie du sang du flux portal sort du système porte avant d'atteindre la porte du foie. Une réduction de cette vitesse est notée chez environ 75% des chiens atteints de shunt extrahépatique (D'Anjou *et al.* 2004). Il faut noter qu'en cas de shunt extrahépatique, la taille parfois très réduite de la veine porte et sa position plus crâniale du fait d'un volume hépatique réduit peut rendre compliquée voire impossible

l'estimation précise de la vélocité du flux portal. Enfin, lors d'hypertension portale associée, la vitesse moyenne du flux portal est communément réduite en deçà de 10 cm/s et parfois inversée ou bidirectionnelle (D'Anjou 2007). Ainsi, la combinaison d'une veine porte normale voire élargie avec une vitesse moyenne du flux portal réduite est fortement indicatrice d'une hypertension portale (D'Anjou et al. 2004).

iii) Flux portal et variabilité

Lors de shunt portosystémique, le flux portal, qui est normalement soumis à une pression constante, peut être influencé par la circulation systémique qui est caractérisée par une pression variable. Cette communication avec la circulation générale peut générer un spectre de flux variable (Figure 27). Cette caractéristique peut devenir plus évidente à l'approche du shunt. La régularité du flux doit également être évaluée dans les affluents de la veine porte notamment si la veine porte est difficile à identifier ou à évaluer (D'Anjou 2007).

Cette variabilité du flux portal reste néanmoins une caractéristique peu sensible puisque D'Anjou *et al.* n'ont pu l'identifier que chez 59% des animaux atteints de shunts portosystémiques dans leur étude de 2004 (D'Anjou et al. 2004).

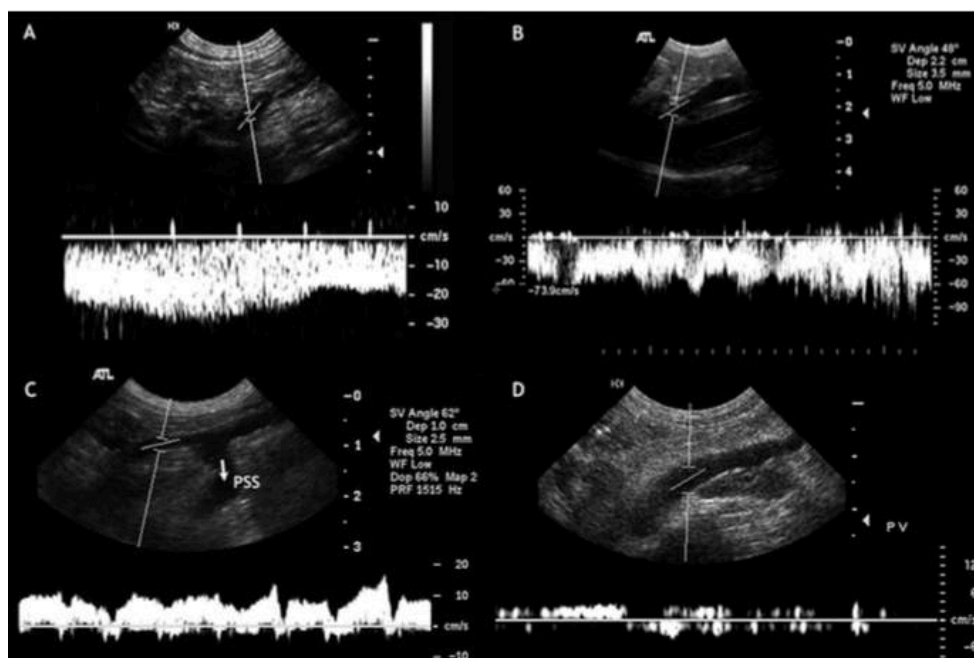


Figure 27 : Flux portal obtenu au doppler spectral

A : Chien sain, B : Shunt intrahépatique chez un chien, le flux portal est augmenté et irrégulier C : Shunt extrahépatique chez un chien, le flux portal est inversé et irrégulier, D : hypertension portale chez un chien, le flux est réduit et bidirectionnel (D'Anjou 2007)

e) Affluents de la veine porte

L'ensemble des affluents de la veine porte sont suivis afin de confirmer leur terminaison. Toute veine ayant un diamètre proche de celui de l'aorte et dont le flux est hépatopète doit être considérée comme suspecte de shunt extrahépatique. Tout vaisseau anormal doit être suivi afin de conforter ou non cette hypothèse. Certains vaisseaux peuvent induire en erreur : des veines se courbent dorsalement et s'anastomosent (les veines gastriques et gastro-épiplœiques par exemple) engendrant un signal doppler différent. Si l'identification d'un vaisseau anormal se confirme, l'imageur doit préciser la taille du shunt, son site de terminaison et si possible son origine (D'Anjou 2007).

f) Veine cave caudale

Les shunts porto-caves qu'ils soient intra ou extrahépatiques entraînent généralement un élargissement de la veine cave caudale crânialement à la terminaison du shunt (D'Anjou 2007; D'Anjou et al. 2004). De plus, une mosaïque de couleur est fréquemment observée en mode Doppler couleur sur le site de terminaison du shunt ce qui témoigne d'un flux turbulent (Figure 28) (D'Anjou 2007). Selon les études, de telles turbulences sont observées chez 42 à 88% des chiens dont le shunt se termine dans la veine cave caudale (D'Anjou et al. 2004).

Enfin, de même que le ratio VP/Ao, le ratio veine porte (VP) sur veine cave caudale (VCC) est un bon indicateur de la présence d'un shunt extrahépatique et permet de s'affranchir des variations de diamètre de la veine porte en fonction du gabarit de l'animal. Ainsi un rapport $VP/VCC < 0,75$ indiquerait un shunt extrahépatique ou une hypertension portale idiopathique avec une sensibilité de 90% et une spécificité de 100% (D'Anjou et al. 2004).

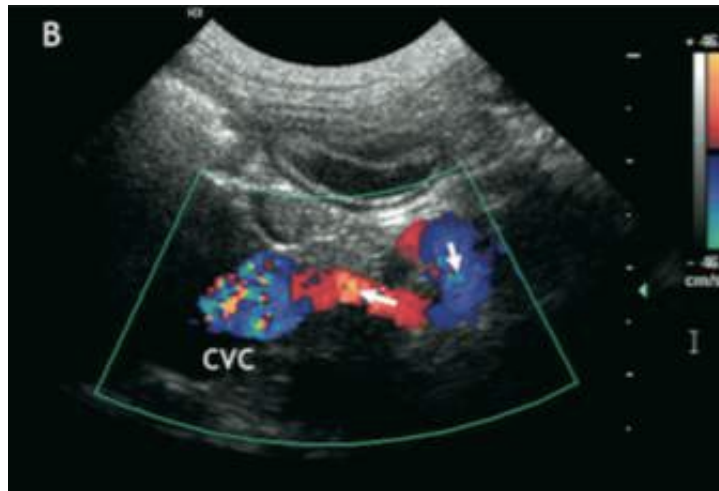


Figure 28 : Image doppler de la terminaison d'un shunt porto-cave chez un chien
 CVC : veine cave caudale
 (D'Anjou 2007)

g) Aorte et veine azygos

L'aorte sert d'une part de repère à l'estimation de la taille de la veine porte, notamment avec le calcul du ratio VP/Ao. D'autre part, elle peut également être utilisée pour localiser un shunt porto-azygos. En effet, chez certains animaux avec ce type de shunt extrahépatique, l'imageur peut observer un vaisseau à droite de l'aorte descendante, caractérisé par un flux dirigé crânialement, entrant dans le hiatus aortique et indiquant une veine azygos élargie.

h) Cas des shunts portosystémiques acquis

Dans les cas de shunts portosystémiques acquis, outre le ou les vaisseaux anormaux, d'autres signes échographiques pouvant expliquer l'origine de ce(s) shunt(s) sont recherchés. Ainsi, les signes d'hypertension portale sont étudiés. Une attention particulière est portée sur le parenchyme hépatique afin de rechercher tout signe de cirrhose, de néoplasie, d'hépatite chronique. Enfin, les hypothèses d'hypertension portale d'origine extrahépatique, de type thrombose ou sténose, doivent être écartées.

Chez la plupart des chiens atteints de shunt acquis, l'imageur peut mettre en évidence un long vaisseau, caractérisé par un flux hépatofuge, partant de la veine splénique et cheminant dorsalement à la rate jusqu'au niveau du rein droit. Au bord caudal de ce vaisseau, un pattern complexe de courts vaisseaux tortueux est typiquement observé. Ce réseau possède une

connexion avec la veine rénale gauche via une veine gonadique élargie. Des collatérales porto-azygos peuvent aussi devenir fonctionnelles (D'Anjou 2007).

i) Néphromégalie et urolithiases

La taille des reins est évaluée subjectivement chez les jeunes animaux car les valeurs usuelles moyennes connues sont valables chez l'adulte. Les données en terme de néphromégalie sont donc à interpréter dans ce contexte. D'Anjou *et al.* ont montré en 2004 que 59% des chiens atteints de shunt portosystémique ont une néphromégalie. Chez le chat, cette caractéristique est moins commune. De plus, ils ont montré que la présence d'urolithiases à l'échographie donnait une valeur prédictive positive de 97% chez des chiens suspects cliniques de shunt portosystémique (D'Anjou *et al.* 2004). Selon les études, environ 30 % des animaux atteints de shunts portosystémiques présentent des calculs (Winkler *et al.* 2003). Ces cristaux apparaissent comme des ponctuations ou lignes hyperéchogènes dans la région rénale, pelvienne, l'urètre, la vessie ou l'uretère (D'Anjou 2007).

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

L'échographie est aujourd'hui une des méthodes de choix pour confirmer le diagnostic d'un shunt portosystémique chez le chien et le chat. Il s'agit d'une méthode non invasive, rapidement disponible, qui permet l'évaluation du foie, de sa vascularisation mais aussi de l'ensemble de la cavité abdominale. C'est un outil diagnostique peu coûteux, qui ne nécessite généralement pas d'anesthésie. Toutefois une sédation est souvent recommandée pour obtenir des images de détail. Les auteurs rapportent une sensibilité allant de 80 à 95% et une spécificité de 67 à 100% selon les études (Santilli, Gerboni 2003; Szatmári *et al.* 2004; Thieman Mankin 2015; Tivers, Lipscomb 2011).

Le principal inconvénient lié à l'échographie est que l'identification correcte d'un shunt et des anomalies est très opérateur dépendant (Tivers, Lipscomb 2011; Winkler *et al.* 2003). Une nette diminution des faux négatifs est observée avec l'augmentation de l'expérience de l'imageur (Thieman Mankin 2015).

	Rappel des VU	SPS congénital intrahépatique	SPS congénital extrahépatique	SPS acquis
Ascite	/	Absente ou modérée	Absente ou modérée	Variable, principalement si hypertension portale
Foie	/	Souvent petit parenchyme homogène	Souvent petit parenchyme homogène	Parfois petit parenchyme souvent hétérogène surtout en cas de cirrhose ou d'hépatite chronique
Vascularisation intrahépatique	Normale	Atténuée	Atténuée	Atténuée
Diamètre de la veine porte	0,49 cm chien 0,44 cm chat	↗	↘	= ou ↗
VP/Ao	0,7-1,25	= ou ↗	↘	/
Vitesse moyenne flux porte (cm/s)	15-20 cm/s chien 10-18 cm/s chat	↗	↘ ou reversée	↘, reversée voire bidirectionnelle si hypertension portale
VCC	Variable selon le poids	Turbulences, élargissement crânial à la terminaison	Turbulences, élargissement crânial à la terminaison	/
Néphromégalie et calculs	/	Communs	Communs	Variable

Tableau 3 : Paramètres échographiques modifiés lors de shunt
D'après D'Anjou 2007, D'Anjou *et al.* 2004, Szatmári *et al.* 2004, Winkler *et al.* 2003.

2) Echographie de contraste et microbulles

A) Principe

Depuis 2010, plusieurs auteurs ont décrit l'utilisation d'une injection trans-splénique de sang hépariné associé à une solution saline agitée pour aider au diagnostic des shunts portosystémiques à l'échographie. Le principe général repose sur le fait que les microbulles d'air injectées ne peuvent pas traverser physiologiquement la barrière sinusoïde du foie. Ainsi, la présence de microbulles dans la circulation systémique indiquerait la présence d'une communication entre le système porte et la circulation générale (Thieman Mankin 2015).

B) Mise en pratique

Cette technique est réalisée sur un animal légèrement sédaté, placé en décubitus latéral droit. Comme pour une échographie abdominale classique, l'animal est tondu des dernières côtes jusqu'au pubis et du gel échographique est appliqué sur la zone. La rate est identifiée à l'aide de l'échographe. Une aiguille connectée à une tubulure est introduite dans le parenchyme splénique sous échographie. La solution à injecter est un mélange de NaCl 0,9% et de 1 mL de sang hépariné de l'animal prélevé à la veine jugulaire. Le volume total administré est de 6 mL pour les chiens de 1 à 10 kg, 8 mL pour les chiens de 10 à 20 kg et 10 mL pour les chiens de plus de 20 kg. La solution est agitée mécaniquement à l'aide de deux seringues reliées à angle droit via un robinet trois voies. Le mélange est injecté, divisé en trois bolus de moins de 3 secondes, afin d'examiner trois fenêtres acoustiques :

- La première fenêtre acoustique est obtenue avec la sonde échographique caudale au processus xiphoïde. Via cette fenêtre, des coupes longitudinales de la veine porte à la porte du foie sont obtenues. Des images transverses de la veine cave caudale et des veines hépatiques sont également obtenues
- La deuxième fenêtre acoustique est utilisée pour évaluer l'abdomen dorsal droit. La sonde est placée en arrière de la dernière côte, du côté droit, avec une orientation légèrement crâniale. Pour cela, une fenêtre peut être découpée dans la table d'examen. Des images longitudinales de la veine cave caudale sont obtenues.

- La troisième fenêtre acoustique consiste à réaliser une coupe parasternale droite grand axe du cœur et une coupe petit axe du ventricule droit (Gómez-Ochoa et al. 2011; Thieman Mankin 2015).

C) Images normales

Chez un animal sain, les microbulles sont observées via la première fenêtre acoustique dans la veine porte principale à la porte du foie. Les autres fenêtres acoustiques ne permettent pas la mise en évidence de microbulles.

D) Images lors de shunt portosystémique

Lors d'un shunt portosystémique, des microbulles sont visualisées dans la circulation systémique (Figure 29) (Thieman Mankin 2015). De plus, l'utilisation des trois fenêtres acoustiques précédemment décrites permet de distinguer un shunt intra ou extrahépatique et éventuellement un shunt extrahépatique porto-cave ou porto-azygos. En effet, lors d'un shunt intrahépatique, les microbulles ne sont pas visibles dans la veine cave caudale extrahépatique mais le sont dans la veine cave caudale intrahépatique et dans l'atrium droit. A l'inverse, lors d'un shunt extrahépatique porto-cave, les microbulles sont visibles dans la veine cave caudale extrahépatique, intrahépatique et dans l'atrium droit. Enfin, en cas de shunt extrahépatique porto-azygos, la veine cave caudale intra et extrahépatique ne présente pas de microbulles mais elles sont visibles dans l'atrium droit (Tableau 4) (Gómez-Ochoa et al. 2011).

	VCC extrahépatique	VCC intrahépatique	Atrium droit
SPS intrahépatique	non	oui	oui
SPS porto-cave extrahépatique	oui	oui	oui
SPS porto-azygos extrahépatique	non	non	oui

Tableau 4 : Localisation des microbulles pour les principaux types de shunts lors d'une échographie de contraste (Gómez-Ochoa et al. 2011)

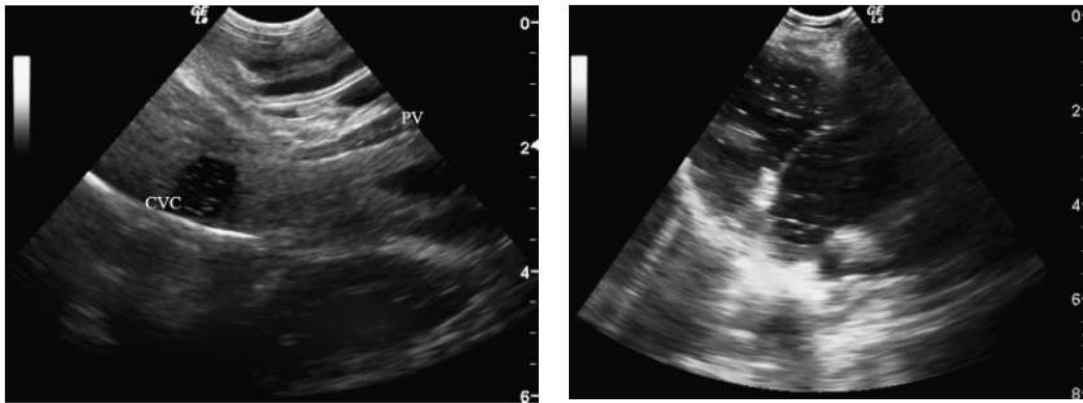


Figure 29 : Mise en évidence de microbulles dans la veine cave caudale et dans la chambre cardiaque droite lors d'une échographie de contraste
 CVC : veine cave caudale, PV : veine porte
 (Gómez-Ochoa et al. 2011)

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

Les auteurs décrivent cette méthode comme relativement simple à mettre en place, sûre et reproductible. En effet, elle ne nécessite pas d'équipement supplémentaire à l'échographie classique et se révèle donc peu coûteuse. Elle a l'avantage de permettre la détection de shunts de toute petite taille qui auraient pu passer inaperçus à l'échographie classique. De plus, elle permet la distinction de shunts intra ou extrahépatiques sans examens invasifs ou plus coûteux.

La sensibilité et la spécificité n'ont pas encore été établies. En revanche, tout comme l'échographie, cette technique est hautement opérateur dépendante. De plus, utilisée seule, elle ne donne aucune information sur le nombre, la morphologie et la position précise du ou des shunts. Enfin, l'échographie de contraste à microbulles nécessite une sédation voire parfois une anesthésie générale (Gómez-Ochoa et al. 2011).

3) Cas d'une échographie de contraste peropératoire

A) Principe et mise en pratique

Saponaro *et al.* ont décrit en 2012 une technique échographique de contraste peropératoire afin de confirmer la présence d'un shunt portosystémique chez un Labrador de 6 mois. Le principe est le même que pour l'échographie de contraste avec microbulles précédemment décrit et repose sur le fait que les microbulles d'air injectées ne peuvent pas traverser physiologiquement la barrière sinusoidale du foie.

Cette technique, outre la confirmation de la présence du shunt, permet d'identifier le vaisseau anormal, d'éliminer l'hypothèse d'un second shunt et de confirmer la réussite chirurgicale de la ligature du vaisseau.

L'animal subit une anesthésie générale. Il est placé en décubitus dorsal, tondu et la zone est préparée de manière chirurgicale. Une céliotomie médiane ventrale est réalisée afin d'exposer une veine jéjunale et de la cathétériser. Le cathéter est sécurisé à l'aide d'une double ligature. Le cathéter ainsi placé permet la mesure de la pression portale. Il est flushé à l'aide d'une solution hépariné après chaque utilisation. Un mélange de 2 mL d'une solution de NaCl 0,9% et de 0,5 mL de sang hépariné de l'animal est agitée puis injectée via le cathéter en place. Une sonde échographique de 3,5 MHz a préalablement été placée sur une fenêtre parasternale gauche afin d'obtenir une coupe apicale des quatre chambres cardiaques.

B) Images de shunt

La présence d'un shunt portosystémique est confirmé par la visualisation, quelques secondes après injection de la solution, de microbulles qui remplissent la chambre cardiaque droite (Figure 30). La même procédure est réitérée après ligature complète du shunt afin d'éliminer l'hypothèse de la présence d'un second shunt et de vérifier la bonne occlusion du vaisseau. Cette nouvelle acquisition ne met pas en évidence de microbulles dans la chambre cardiaque droite (Figure 30).

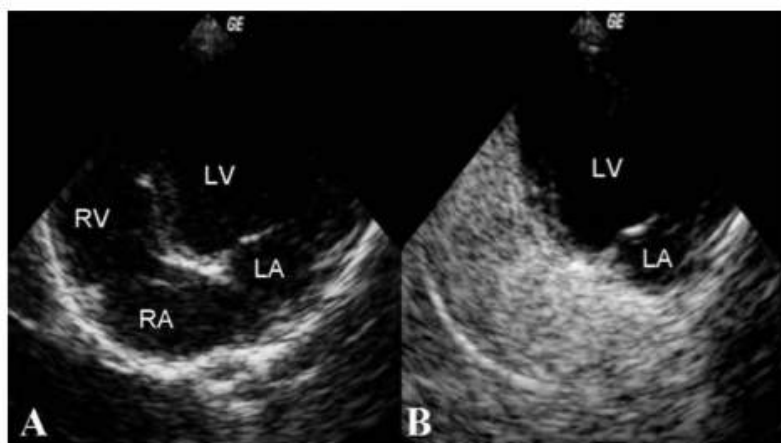


Figure 30 : Suivi échographique peropératoire : apparition de microbulles dans la chambre cardiaque droite

A : Coupe apicale gauche 4 chambres, B : microbulles dans la chambre cardiaque droite immédiatement après l'injection

RV : ventricule droit, RA : atrium droit, LV : ventricule gauche, LA : atrium gauche
(Saponaro et al. 2012)

C) Avantages et inconvénients de cette méthode

Contrairement à l'injection trans-splénique précédemment décrite, l'injection de solution saline agitée se fait ici dans une veine jéjunale ce qui permet de mettre en évidence des shunts plus distaux. Le principal avantage de cette méthode réside dans le fait que l'image est interprétable facilement, la méthode est en temps réel et peut être facilement répétée. Elle permet, au sein d'une même anesthésie, de confirmer le diagnostic et de réaliser la prise en charge chirurgicale.

Toutefois, l'échographie peropératoire ne permet pas de localiser le shunt mais simplement de confirmer sa présence. Ainsi le chirurgien doit rechercher « à l'aveugle » le shunt ou réaliser une portographie mésentérique par la suite, ce qui peut augmenter considérablement le temps opératoire. Ainsi, le clinicien doit évaluer l'intérêt réel d'utiliser cette technique invasive si d'ores et déjà une portographie doit être réalisée.

IV- Scintigraphie

A) Principe

a) *Atome, radioactivité et formation des rayons γ*

La scintigraphie est un examen d'exploration fonctionnelle. Il s'agit d'étudier un organe ou un tissu au moyen de traceurs radioactifs injectés au patient dans le but de suivre son fonctionnement. Un élément radioactif est un élément chimique instable qui va se transformer spontanément en une entité plus stable. Pour comprendre ces mécanismes et la formation de l'image en scintigraphie, il convient de revenir sur la définition d'un atome.

L'atome est une structure indivisible, homogène et électriquement neutre, constitutive de la matière. Il comprend :

- Un noyau formé de protons chargés positivement et de neutrons non chargés. Protons et neutrons sont appelés nucléons.
- Des électrons, chargés négativement, qui gravitent autour du noyau sur une ou plusieurs couches.

Ainsi, pour un atome donné on définit :

- Le nombre de masse, noté A ($A = Z + N$)
- Le nombre de protons, noté Z (égal au nombre d'électrons)
- Le nombre d'électrons, noté N

On appelle élément chimique, les constituants de la matière (atome ou ions) qui présentent le même nombre de protons Z dans leur noyau. Chaque élément chimique est représenté par un symbole (E). Ainsi les éléments sont représentés de la manière suivante : ${}^A_Z E$.

Enfin, on parle d'isotope pour caractériser un même élément chimique dont seuls le nombre de neutrons (N) et le nombre de masse (A) varient. Il existe des isotopes naturels stables et instables. Un isotope radioactif est un isotope possédant un excès ou un défaut de neutrons par rapport aux isotopes naturels stables du même élément chimique. Ainsi on parle de radioactivité lors de la cassure spontanée de noyaux d'isotopes instables. Cette cassure est accompagnée d'émission :

- α : Elle concerne les noyaux ayant trop de nucléons et se manifeste par l'émission d'un noyau d'hélium. Cette transformation peut être suivie de l'émission d'un rayonnement γ lors du passage par un état excité.
- β^- : Elle concerne les noyaux ayant trop de neutrons et se manifeste par l'émission d'un électron provenant du noyau (et non du nuage électronique). De même, cette transformation peut être suivie d'un rayonnement γ lors du passage par un état excité.
- β^+ : Elle concerne les noyaux ayant trop de protons et se manifeste par l'émission d'un positron qui résulte de la transformation dans le noyau d'un proton en neutron. De même, cette transformation peut être suivie d'un rayonnement γ lors du passage par un état excité.
- γ : Elle concerne un noyau se trouvant dans un état excité c'est à dire dans un état de haute énergie. Elle se manifeste lors du passage à un état de plus basse énergie par l'émission d'un photon sous la forme d'un rayon γ . On parle dans ce cas d'état métastable de l'isotope correspondant. Il est noté avec la lettre m suivant le nombre de masse de l'élément. Ainsi, le technétium ${}^{99m}_{Tc}$ et le Tc constituent une paire isométrique nucléaire.

b) Marqueurs utilisés en scintigraphie

Un traceur radioactif (ou radiotracteur) est composé d'un radio-isotope que l'on appelle « marqueur » et éventuellement associé à une molécule appelée « vecteur ». Le marqueur possède un noyau atomique instable. Il subit une transformation spontanée pour évoluer vers un état plus stable. En se transformant, le noyau radioactif donne un ou plusieurs électrons et produit un rayonnement électromagnétique (c'est l'émission γ). Ainsi, les rayons γ sont des rayons ionisants ayant une longueur d'onde comprise entre 10-15 et 10-10 m.

Les marqueurs utilisés en scintigraphie possèdent des propriétés essentielles à la réalisation de l'examen :

- Ils sont spécifiques d'un organe, d'une pathologie ou d'une fonction.
- Ils ont une demi-vie et une énergie adaptée à la détection et aux impératifs de distribution dans l'organisme.
- Ils peuvent être utilisés en très faibles concentrations par voie orale, intraveineuse, rectale ou par inhalation et ne sont pas toxiques sur le plan biologique.

Le type d'émission radioactive découle du mode de production du marqueur. En effet, on peut retrouver :

- Des réacteurs : émetteurs de β^- et de γ
- Des accélérateurs : émetteurs de β^+
- Des générateurs : émetteurs de γ purs

Les traceurs générateurs sont constitués d'un radioélément père qui se désintègre spontanément en élément fils. C'est le cas par exemple du technétium ^{99m}Tc qui est utilisé dans environ 90% des scintigraphies animales pour ses caractéristiques idéales (140 KeV et demi-vie de 6 heures). Ce dernier ne peut pas être stocké du fait de sa courte période de demi-vie. Il est donc obtenu à la demande, via un générateur, à partir de molybdène (Mo).

Différentes unités sont utilisées pour caractériser la radioactivité et l'exposition aux rayonnements :

- L'activité d'une source est exprimée en Becquerel (Bq). Un Becquerel correspond à une désintégration par seconde.
- La dose absorbée, reçue par l'organisme est exprimée en Gray (gy). Un Gray correspond à 1 joule/kg.
- La dose efficace ou « équivalent biologique », utilisée en radioprotection est exprimée en Sievert (Sv). L'ancienne unité, encore beaucoup utilisée dans les publications

scientifiques, est le Röntgen Equivalent Man (rem) et 1 rem équivaut à 0,01 Sv. Des débits de doses sont également fréquemment exprimés en Sv/h.

- Les mesures d'exposition sont exprimées dans le système international en Coulomb par kilogramme (C/kg). Le Röntgen (R) est encore beaucoup utilisé dans les publications et 1 R équivaut à 0,258 mC/kg.

c) Acquisition et formation de l'image

La détection de la radioactivité en temps réel se fait à l'aide d'une gamma caméra. L'objectif est de donner une image planaire représentant la projection de la concentration radioactive au sein de l'organisme. Une gamma caméra est formée par un collimateur, un cristal scintillateur et un photomultiplicateur. Une image ou une acquisition dynamique peut ainsi être obtenue, traitée et stockée.

Le collimateur est situé directement entre la source et le cristal scintillateur. Il joue le rôle de « filtre » et ne laisse passer que les rayons parallèles qui forment l'image sur le plan de détection. Le collimateur est généralement une surface en plomb ou en tungstène percée de trous de même axe et séparés par un septum d'épaisseur variable. La résolution spatiale s'améliore quand l'épaisseur du septum augmente. A l'inverse, la sensibilité augmente quand la section des perforations augmente. Il faut ainsi trouver un compromis entre ces deux paramètres.

Le scintillateur convertit l'énergie incidente du rayonnement gamma en un rayonnement de fluorescence. En effet, il reçoit les photons gamma de la source qui sont directement absorbés par le milieu et engendrent une excitation des molécules. Le scintillateur émet alors des photons du visible ou UV selon ses caractéristiques. Il existe principalement des scintillateurs inorganiques cristallins (sulfate de zinc, iodure de sodium, fluorure de baryum, germanate de bismuth). Les scintillateurs organiques (monocristaux ou solutions de composés aromatiques) sont rarement utilisés.

Enfin, les photomultiplicateurs reçoivent les photons lumineux émis par le scintillateur sur une photocathode qui les convertit en électrons. Une série d'électrodes amplifie ensuite ce signal électrique jusqu'à 10^{10} avant l'arrivée à l'anode. Le dispositif électronique placé à la sortie de chaque photomultiplicateur permet de repérer dans l'espace le lieu d'émission du photon incident. L'acquisition de l'image se fait ensuite via une matrice dont les dimensions sont variables selon l'ordinateur et le type d'examen. Le plus souvent, on trouve des matrices

de 64*64 ou 128*128. Pour ceci, le champ de la caméra est découpé en carrés élémentaires (ou pixels) et l'acquisition peut être statique ou dynamique. Classiquement, l'imager définit des ROI (Region Of Interest) sur l'image, afin de pouvoir suivre visuellement le marqueur et noter son arrivée au sein de la zone et donc au sein de l'organe d'intérêt.

d) Principes de radioprotection appliqués à la scintigraphie

Les rayons γ sont très pénétrants et ont des effets biologiques. En effet, ils engendrent la production de radicaux libres et de peroxydes sur leur passage. Ces produits peuvent interagir avec des enzymes ou des macromolécules biologiques et créer des radiolésions. Les lésions les plus graves touchent l'ADN avec par exemple des ruptures simples ou doubles des chaînes moléculaires. A l'échelle tissulaire, les conséquences peuvent aller d'un simple retard de mitose pour des doses faibles d'exposition jusqu'à la mort cellulaire pour des doses plus importantes. Les grands principes de radioprotection s'appliquent donc à la scintigraphie :

- Justification : l'examen doit apporter un bénéfice net à la démarche diagnostique.
- Optimisation : l'exposition doit être maintenue au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre.
- Limitation : la dose reçue ne doit pas dépasser les limites recommandées.

Le respect de ces limites repose sur plusieurs facteurs :

- Techniques : l'utilisation d'une gamma caméra plus sensible réduit la dose de traceur à utiliser.
- Géométriques : les zones anatomiques sans intérêt pour le diagnostic doivent être masquées, les contenants du traceur sont plombés (seringue ...).
- Quantitatifs : le nombre d'examens doit être réduit.

B) Mise en pratique

a) Scintigraphie per rectale

Pour réaliser une scintigraphie per rectale, l'animal est mis à jeun durant 12h. La première étape consiste à réaliser un lavement colique sous anesthésie ou sédation. Ce lavement est fait le plus souvent à l'aide d'eau chaude et doit être réalisé dans les deux heures qui précèdent la scintigraphie. Pour l'examen en lui-même, l'animal est placé en décubitus latéral droit sous

sédation ou anesthésie générale. Des marqueurs en cobalt sont placés ventralement au processus xiphoïde et ventralement au choc précordial afin de faciliter la localisation du cœur et du foie et le traçage des ROI (Region Of Interest). De plus, un panneau en plomb peut être placé entre l'animal et la caméra à hauteur de l'arrière train afin de limiter la pollution de l'image par la radioactivité présente dans le colon.

Le traceur le plus fréquemment utilisé est le pertechnetate de sodium ($NaTcO_4$) dont l'anion radioactif possède une demi-vie de 6 heures et une énergie gamma de 140 keV. Il est relativement peu coûteux et facilement disponible en routine.

Une sonde de type sonde d'alimentation en caoutchouc est introduite dans le colon distal sur 15 à 20 cm et connectée à un robinet trois voies. Sur ce dernier sont placées :

- Une seringue plombée contenant le marqueur radioactif à la dose de 37-74 MBq/kg dilué dans 1 mL de NaCl 0,9%
- Une seringue remplie d'air. Généralement les auteurs rapportent entre 6 et 20mL d'air pour un chien et 2,5 mL pour un chat.

Le marqueur est poussé dans la lumière colique puis flushé à l'aide de la seringue d'air. L'acquisition dynamique commence dès l'injection à la fréquence d'un cliché toutes les 4 secondes. Globalement l'enregistrement se fait sur 2,5 à 3,2 minutes et les images sont stockées sur des matrices de 64*64 ou 128*128. Informatiquement, le temps zéro est défini et les ROI sont tracées. Le temps zéro est défini comme l'instant auquel l'activité dans le foie et le cœur est égale au double de la radioactivité de fond.

Outre des images en échelle de gris ou de couleur selon l'activité de chaque pixel, une courbe reliant le temps et la radioactivité pour chaque organe peut être établie. Ainsi, les images sont évaluées visuellement et quantitativement. La fraction de shunt est calculée à partir du compte net dans les ROI du foie et du cœur selon la formule suivante :

$$FS = \frac{\Sigma_{comptage\ coeur}}{\Sigma_{comptage\ coeur} + \Sigma_{comptage\ foie}}$$

Le comptage s'effectue sur 12 secondes dès lors qu'il y a présence de radioactivité dans le cœur et le foie simultanément. La fraction de shunt représente donc une estimation du flux sanguin porte qui shunt le foie. Enfin, le temps de transit du radio-marqueur entre le foie et le cœur est déterminé (Cole et al. 2005; Santilli, Gerboni 2003; Sura et al. 2007).

A la suite d'une scintigraphie per rectale, l'animal est généralement isolé durant 12 heures afin d'atteindre des niveaux acceptables de radioactivité (<0,2 mR/h à la distance d'un mètre) (Sura et al. 2007). Ses urines et ses matières fécales sont également récoltées. Il a été montré en 2005 que suite à une scintigraphie per rectale, l'exposition à un mètre de l'animal s'élevait

à 1,6 +/- 0,4 mR/h et à 52,5 +/- 18,5 mR/h directement à son contact (Cole et al. 2005). Ces valeurs d'exposition peuvent être obtenues à l'aide de dosimètres mais peuvent également être estimées pour la radioactivité à un mètre à l'aide d'une formule faisant intervenir la dose de radio-marqueur injectée :

$$Exposition(1m) = -0,0871 + (0,144 \times radioactivit\acute{e} \text{ inject\acute{e}e}_{en \text{ mCi}})$$

b) Scintigraphie trans-splénique

Pour réaliser une scintigraphie trans-splénique, l'animal est sédaté ou anesthésié. Il est placé en décubitus latéral droit et l'abdomen latéral droit est tondu et nettoyé. Tout comme pour la scintigraphie per rectale, des marqueurs en cobalt sont placés ventralement au processus xiphoïde et ventralement au choc précordial afin de faciliter la localisation du cœur et du foie et le traçage des ROI (Region Of Interest).

Deux marqueurs radioactifs ont été particulièrement étudiés pour l'étude des shunts portosystémiques chez les carnivores en scintigraphie trans-splénique. Le plus utilisé reste le pertechnetate de sodium ($NaTcO_4$) mais plusieurs auteurs rapportent l'utilisation de pertechnetate de mebrofenin. Ce dernier permet une bonne délimitation du parenchyme hépatique car les hépatocytes extraient plus de 90% de la molécule dès le premier passage hépatique. Le choix du traceur est laissé à l'imager selon le contexte et les suspicions cliniques. Toutefois, il faut noter que les images « normales » et les images caractéristiques de shunt portosystémique seront interprétées différemment selon le produit utilisé (Morandi et al. 2007).

Pour injecter le produit, aiguille de 22G reliée à une seringue plombée est placée sous contrôle échographique dans le parenchyme splénique. L'injection doit être réalisée le plus loin possible du foie afin que l'activité du foie et de la rate ne se superposent pas sur les images. Selon les études, 37 à 74 MBq de pertechnetate de sodium ou 37 à 130 MBq de pertechnetate de mebrofenin sont injectés à l'animal. L'acquisition dynamique est initiée lorsque l'aiguille est en place dans le parenchyme splénique et environ 2 secondes avant l'injection. Les images sont ensuite prises à une fréquence de 4 par seconde durant 5 minutes et sont stockées sur des matrices de 128*128.

Ensuite, tout comme pour la scintigraphie per rectale, les régions d'intérêt (ROI) sont tracées, et le temps zéro défini. Les images sont évaluées visuellement et quantitativement. La fraction de shunt est calculée avec la même formule. Certaines études effectuent toutefois ce calcul sur 7 secondes et non pas sur 12 lors d'une scintigraphie trans-splénique (Sura et al. 2007). Enfin, le temps de transit entre le foie et le cœur est déterminé.

Contrairement à la scintigraphie per-rectale, lors de scintigraphie trans-splénique, les animaux peuvent généralement être rendus à leur propriétaire dans l'heure qui suit l'examen. En effet, l'exposition à un mètre de l'animal est dans ce cas de $0,14 \pm 0,06$ mR/h (Cole et al. 2005; Morandi et al. 2005, 2007; Sura et al. 2007).

C) Images normales

a) Images normales avec utilisation du pertechnetate de sodium

Chez un animal sain, lors d'une scintigraphie avec du pertechnetate de sodium, la région hépatique est soulignée par le traceur en premier. On rapporte en effet qu'elle est identifiée 8 à 12 secondes après l'injection lors d'une scintigraphie per rectale (Santilli, Gerboni 2003). Le temps de transit du radionucléide entre le foie et le cœur est ensuite chez un chien normal de 5 à 10,75 secondes avec une valeur moyenne à 7,03 secondes (Figure 31) (Morandi et al. 2005; Cole et al. 2005). Chez le chat, les valeurs usuelles ont été établies entre 8 et 14 secondes pour ce temps de transit (Santilli, Gerboni 2003; Tillson, Winkler 2002). Certains auteurs vont jusqu'à dire qu'un shunt peut être éliminé chez tout carnivore domestique lorsque l'activité est détectée dans le foie au moins 2 secondes avant une détection dans la région cardiaque (Samii et al. 2001).

Enfin, la fraction de shunt calculée sur 8 à 12 secondes est inférieure à 10-15% chez un animal sain (Samii et al. 2001; Sura et al. 2007; Cole et al. 2005).

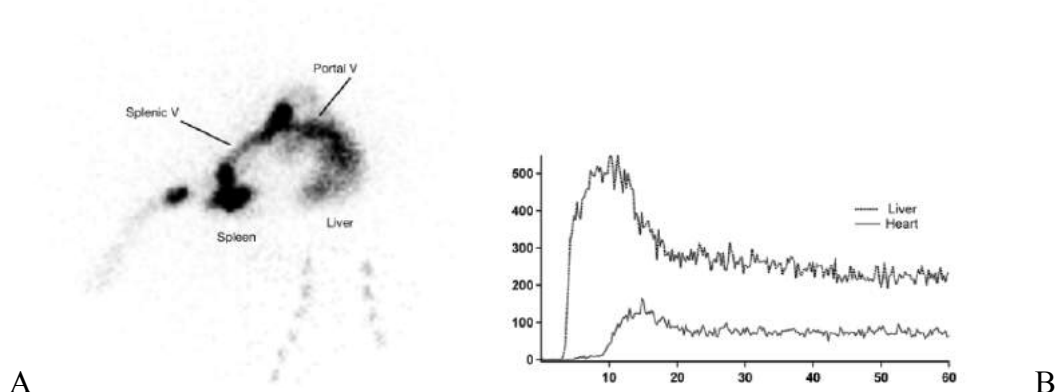


Figure 31 : Images obtenues en scintigraphie trans-splénique chez un animal sain avec du pertechnetate de sodium

A : Image composite chez un animal sain formée par l'addition des vues prises au cours du temps, B : Courbe temps-activité chez un animal sain (Cole et al. 2005; Morandi et al. 2007)

b) Images normales avec utilisation du pertechnetate de mebrofenin

Les images obtenues lors d'une scintigraphie trans-splénique avec du pertechnetate de mebrofenin chez un chien sain sont caractérisées par une très haute extraction hépatique du marqueur. Un angiogramme de la veine splénique et de la veine porte sont obtenus dans un premier temps puis, très rapidement, le traceur se distribue dans l'ensemble du parenchyme hépatique. Le temps de transit entre le foie et le cœur ne peut pas être évalué car la haute extraction hépatique entraîne une activité très réduite dans la région cardiaque. Un pic d'activité dans la région hépatique est relevé à $3,1 \pm 1,1$ minutes. Le marqueur est ensuite excrété dans la vésicule biliaire (activité biliaire en moyenne après 8,8 minutes) puis éliminé par voie intestinale. Aucun résidu d'activité sanguine ou cardiaque n'est visible après 5 minutes d'acquisition (Figure 32). Enfin, la fraction de shunt calculée chez les chiens sains est de $0,8 \pm 0,8\%$ (Morandi et al. 2007).

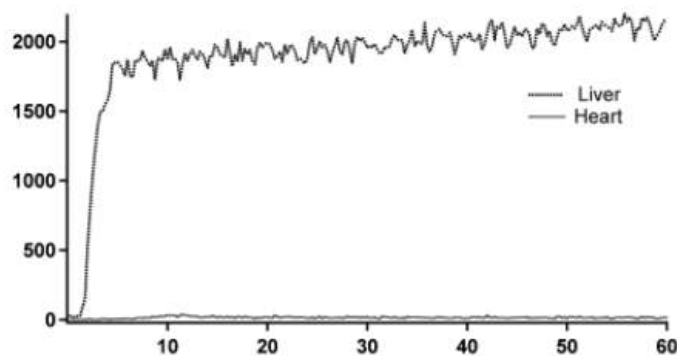


Figure 32 : Activité dans les ROI en scintigraphie trans-splénique avec utilisation de pertechnetate de mebrofenin chez un animal sain (Morandi et al. 2007)

D) Images lors de shunt portosystémique

a) Images lors de shunt portosystémique avec utilisation du pertechnetate de sodium

Lorsque l'animal est atteint d'un shunt portosystémique, une première analyse visuelle des images et des courbes d'activité peut renforcer la suspicion clinique. En effet, la radioactivité au sein des ROI sera décelable dans la région cardiaque avant ou en même temps que celle de la région hépatique (Samii et al. 2001). De plus, la fraction de shunt calculée est toujours supérieure à 15%. Pour un shunt macrovasculaire, Santilli et Gerboni rapportent en 2003 des valeurs allant de 67 à 87% chez le chien et 45 à 61 % chez le chat (Santilli, Gerboni

2003). Ainsi, pour des valeurs de fraction de shunt comprises entre 15 et 45%, le résultat est dit « douteux » et ne permet pas de conclure.

Outre ces premières analyses, plusieurs auteurs ont montré que la scintigraphie trans-splénique pouvait apporter plus d'informations quant à la morphologie du shunt. En effet, l'injection du traceur en trans-splénique apporte une résolution d'image élevée qui pourrait permettre la distinction entre des shunts simples, multiples et d'évaluer, dans une certaine mesure, leur anatomie. La terminaison du shunt serait par exemple identifiable pour 94% des cas (Cole et al. 2005; Sura et al. 2007).

Dans cette optique, Morandi *et al.* ont décrit l'utilisation de la scintigraphie trans-splénique au pertechnetate de sodium pour le diagnostic et la description anatomique de 28 cas de shunts chez le chien. Ils rapportent que les shunts simples ou multiples sont facilement distingués et décrivent trois pattern d'images caractéristiques de shunts simples extrahépatiques :

- Shunt porto-azygos : le bolus chemine dorsalement, parallèlement à la colonne vertébrale et entre dans la région cardiaque cranio-dorsalement. Aucune activité n'est décelable dans la région hépatique

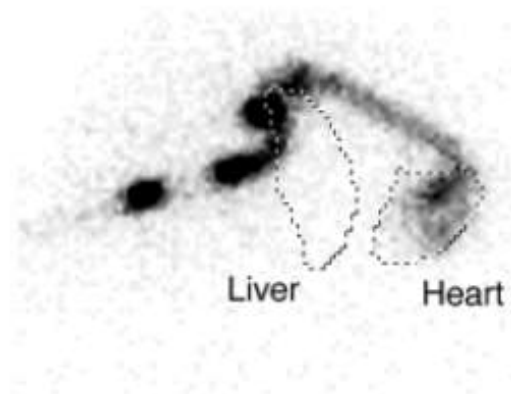


Figure 33 : Image scintigraphique de shunt porto-azygos chez un chien avec du pertechnetate de sodium
(Morandi et al. 2010)

- Shunt porto-cave ou spléno-cave : le bolus chemine de façon linéaire jusqu'à la veine cave caudale et entre dans la région cardiaque caudalement. Aucune activité n'est détectée dans la région hépatique

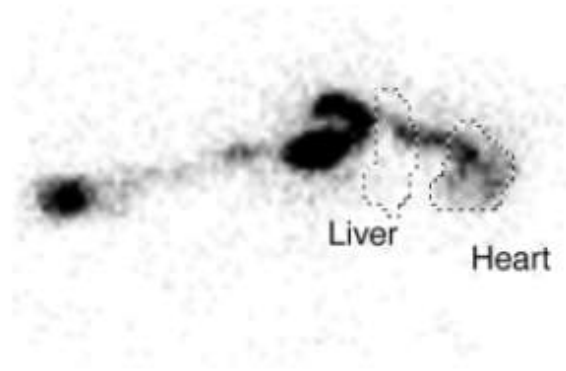


Figure 34 : Image scintigraphique de shunt porto-cave chez un chien avec du pertechnetate de sodium
(Morandi et al. 2010)

- Shunt intrathoracique : le bolus chemine ventralement le long de l'abdomen et du thorax et entre dans la région cardiaque par son aspect crânial. Aucune activité n'est décelable dans la région hépatique.

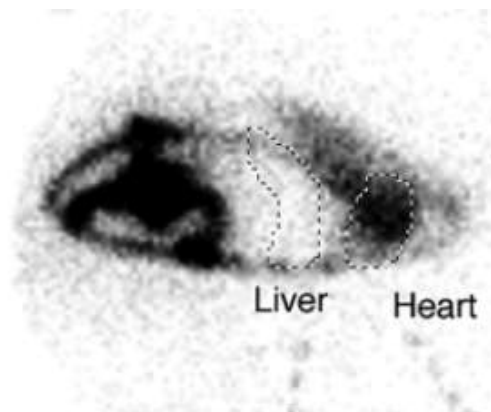


Figure 35 : Image scintigraphique de shunt intrathoracique chez un chien avec du pertechnetate de sodium
(Morandi et al. 2010)

- Shunts multiples : visualisation d'un plexus de vaisseaux, fragmentation du bolus de traceur et visualisation d'un flux hépatofuge caudal à la marge des reins (Figure 36).

Néanmoins, ces descriptions morphologiques des shunts restent globales et ne permettent pas d'établir avec certitude des caractéristiques telles que l'origine, la terminaison ou le trajet du vaisseau.

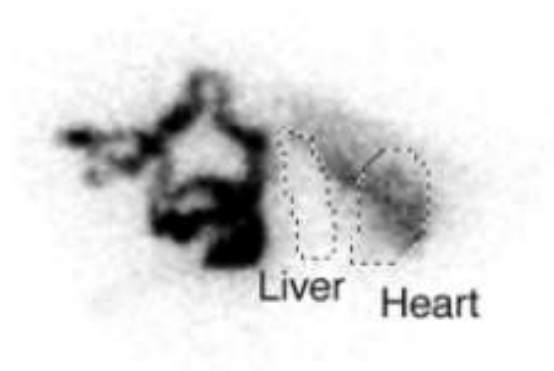


Figure 36 : Image scintigraphique de shunts multiples chez un chien avec du pertechnetate de sodium
(Morandi et al. 2010)

Enfin, il a été montré que le temps de transit du bolus entre la rate et la région cardiaque serait significativement plus long lors de shunts multiples (1,9 secondes) par rapport aux cas de shunts porto-caves (1,0 secondes). Cette différence n'est toutefois pas significative avec les animaux atteints de shunts porto-azygos (1,3 secondes) (Morandi et al. 2005, 2010).

b) Images lors de shunt portosystémique avec utilisation du pertechnetate de mebrofenin

Il a été vu précédemment que le pertechnetate de mebrofenin possède une extraction hépatique d'environ 90% chez le chien sain lors d'une scintigraphie trans-splénique. Ainsi, tout animal dont l'activité dans la région cardiaque dépasse 10% à n'importe quel moment pourrait être suspect de shunt ou d'une fonction hépatique diminuée (Morandi et al. 2007). Lors d'un shunt large, l'image obtenue est caractéristique : alors que le traceur se distribue principalement au sein du parenchyme hépatique en temps normal, dans ce cas, il est possible de n'avoir aucune activité dans la région hépatique (Figure 37) (Anderson et al. 2010).

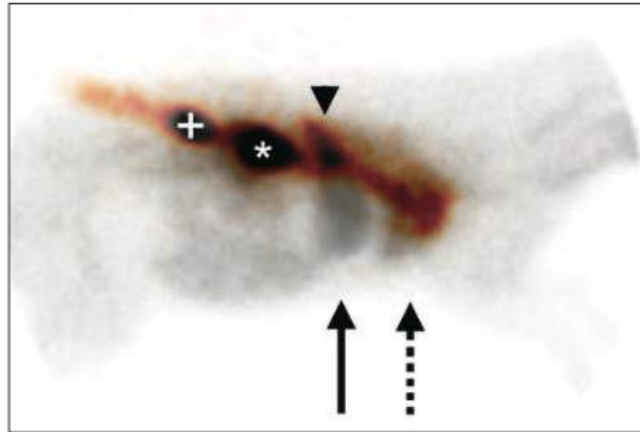


Figure 37 : Scintigraphie trans-splénique avec du pertechnetate de mebrofenin chez un chien atteint d'un shunt porto-cave

+ : seringue, * : site d'injection, la flèche pleine pointe la zone hépatique, la flèche discontinue pointe la zone cardiaque
(Anderson et al. 2010)

E) Comparaison scintigraphie per-rectale vs trans-splénique

S'il a été montré que les fractions de shunts calculées ne présentent pas de différences significatives entre les deux méthodes, elles présentent des points de divergence tant en matière d'aspect pratique qu'en terme d'outil diagnostique (Cole et al. 2005).

La scintigraphie per-rectale est un outil diagnostique peu invasif, qui permet des résultats rapides (Sura et al. 2007). Selon les études, il est rapporté une sensibilité et une spécificité respectivement de 88% et 67 à 68% dans le diagnostic des shunts portosystémiques congénitaux (Santilli, Gerboni 2003; Sura et al. 2007; Thieman Mankin 2015). Malgré ces bons résultats, la scintigraphie per-rectale présente de nombreux points négatifs :

- L'administration et l'absorption trans-colique poussent à avoir recours à une grande quantité de marqueur. En effet, plusieurs études rapportent que seulement 14 à 15% du radionucléide administré est réellement absorbé par la muqueuse colique. Ce faible pourcentage engendre le recours à de fortes doses de marqueur pour souligner correctement le système porte. La quantité résiduelle dans le colon entraîne un bruit de fond d'activité nucléaire qui abaisse la résolution des images finales. Généralement, des protections en plomb permettent de « masquer » la zone du colon de la gamma caméra (Cole et al. 2005; Sura et al. 2007). Ainsi, les animaux subissant une scintigraphie per-rectale sont généralement hospitalisés durant 12h au minimum afin d'évacuer l'ensemble du produit radioactif administré.

- La qualité des images repose en partie sur une bonne préparation colique. Le bolus de radionucléide peut en effet se disperser avec un dépôt partiel dans une selle. De plus, une distension du colon par des fluides peut diminuer l'absorption du produit (Samii et al. 2001; Sura et al. 2007).
- Une administration trop caudale, dans le rectum, peut entraîner une absorption du traceur par la veine rectale caudale et ainsi entraîner un faux positif (Sura et al. 2007).
- La description morphologique du shunt n'est généralement pas possible. Il a été montré que lors d'une scintigraphie transrectale, les imageurs sont d'accord sur le nombre de shunt(s) dans seulement 31% des cas mais sont en accord sur la conclusion « positif » ou « négatif » de l'étude dans 98% des cas. En effet, la présence d'un shunt peut être déterminée mais la visualisation de la vascularisation porte n'est généralement pas suffisante (Cole et al. 2005; Sura et al. 2007).

La scintigraphie trans-splénique est, quant à elle, une méthode peu invasive permettant de palier à plusieurs points négatifs de la méthode per-rectale. Les auteurs rapportent une sensibilité et une spécificité de 100 % (Sura et al. 2007; Thieman Mankin 2015). Il a été montré à plusieurs reprises que cette administration trans-splénique permet une meilleure absorption du traceur. Par exemple, en 2005, Cole *et al.* montrent qu'environ 52% du radionucléide est absorbé en 60 secondes lors d'une injection trans-splénique alors que sur le même temps, 9% du produit est absorbé par le colon (Cole et al. 2005). Il en découle une quantité de radionucléide nécessaire moins importante et un temps d'acquisition réduit. De plus, l'animal est généralement rendu à ses propriétaires sous 1 heure et l'ensemble du personnel est moins exposé aux radiations (Cole et al. 2005; Sura et al. 2007). Enfin, comme nous l'avons vu, la scintigraphie trans-splénique offre une meilleure résolution ce qui permet de caractériser plus précisément le shunt (sans pour autant pouvoir décrire son anatomie). En effet, lors d'un examen trans-splénique, les imageurs sont d'accord sur le nombre de shunt(s) dans 89% des cas (Sura et al. 2007).

Toutefois, il faut avoir en tête qu'en utilisant la scintigraphie trans-splénique, il est possible de manquer un shunt portosystémique dont l'origine serait distale à la veine splénique (Cole et al. 2005). De plus, l'injection trans-splénique peut se révéler délicate et le principal risque est de réaliser une injection intrapéritonéale qui rend alors l'examen non diagnostique. Enfin, le risque d'hémorragie splénique est à considérer et il est conseillé de mesurer les temps de coagulation avant l'examen (Sura et al. 2007).

F) Avantages et inconvénients de ces méthodes

De manière générale, la scintigraphie est un outil peu invasif mais nécessitant une sédation voire une anesthésie générale. Elle possède de bonnes valeurs de sensibilité et de spécificité dans la recherche des shunts portosystémiques. De plus, elle peut être utile pour le suivi et la gestion post-opératoire après ligature d'un shunt.

Toutefois, le recours à cette technique engendre la manipulation de produits radioactifs. La scintigraphie reste ainsi un examen coûteux et peu accessible en pratique. Elle est de moins en moins utilisée avec le développement de l'échographie car elle permet d'obtenir moins d'informations sur l'anatomie du shunt. Enfin, une certaine variabilité inter-opérateur a été mise en évidence notamment sur la sélection des ROI et les calculs des fractions de shunts (Samii et al. 2001; Santilli, Gerboni 2003; Tivers, Lipscomb 2011).

V- Scanner

A) Principe

Le scanner ou tomodensitométrie est une méthode d'imagerie relativement récente. Le premier scanner cérébral a été réalisé en 1971 mais ce sont principalement les progrès technologiques et informatiques récents qui ont permis l'évolution de cette méthode. Il s'agit d'une chaîne radiologique comme nous l'avons vu pour la radiographie. Des détecteurs sont disposés en couronne afin d'explorer l'animal coupe après coupe. Ainsi un scanner est constitué de trois éléments principaux : le générateur, le tube à rayons X et les détecteurs disposés en couronne. On distingue plusieurs types de scanner :

- 3^{ème} génération : le tube et le détecteur sont en rotation autour de l'animal
- 4^{ème} génération : un grand nombre de détecteurs sont fixes et forment une couronne complète. Seule la source de rayons X est en rotation : on obtient ainsi une coupe par rotation.
- 5^{ème} génération : 4 à 16 couronnes de détecteurs sont juxtaposées et fixes. La source de rayons X est en rotation : on obtient ainsi plusieurs coupes à chaque rotation de la source.

Plusieurs étapes conduisent à la formation de l'image tomodensitométrique : l'atténuation, la projection, la rétroprojection et enfin la formation de l'image.

Les rayons X émis par le générateur traversent le corps de l'animal avant d'atteindre les détecteurs. Ils sont atténués différemment en fonction des structures traversées. Cette atténuation répond à la formule suivante :

$$\log \frac{I_0}{I} = \mu \times X$$

Avec : I_0 l'intensité du faisceaux incident - I l'intensité émergente - μ le coefficient d'atténuation de l'objet traversé - X l'épaisseur de l'objet traversé

Les faisceaux atténués émergents sont ensuite reçus par les différents détecteurs. Ces derniers convertissent l'énergie photonique qu'ils reçoivent en un signal électrique proportionnel. Le profil d'atténuation ou projection correspond à l'ensemble des signaux électriques fournis par la totalité des détecteurs pour un angle de rotation donné. Les projections sont ainsi échantillonnées et numérisées : ce sont des valeurs numériques avec une adresse spatiale. Elles sont ensuite rétro-projetées sur une matrice de reconstruction. La matrice est un tableau à n lignes et n colonnes définissant un nombre de carrés élémentaires (pixels). A partir des valeurs d'atténuation, l'ordinateur calcule la densité de chaque pixel de la matrice. Les coefficients de densité des différents tissus sont exprimés en unités Hounsfield (UH). Le zéro est attribué à l'eau, l'air est à -1000 UH et le calcium à $+1000$ UH. En fonction de sa densité, chaque pixel est représenté par une certaine valeur dans l'échelle des gris. Toutefois, l'œil humain ne peut distinguer que 16 niveaux de gris sur une même image. On définit donc des fenêtres de représentation. Une fenêtre est définie par :

- Un niveau (level) : c'est la valeur centrale des densités visualisées
- Une largeur (window) : c'est le nombre de niveaux de densité de la fenêtre

Ainsi, plus une fenêtre est large, plus le nombre de niveaux de gris représenté sera grand mais moins le contraste sera élevé, et inversement. Plusieurs paramètres d'acquisition sont à définir :

- La collimation primaire définit la forme et la largeur du faisceau
- Le temps de rotation
- Le pitch : c'est le rapport entre le déplacement de la table et la collimation. Ainsi, on parle de pitches chevauchés lorsque le rapport est inférieur à 1. Ils diminuent les artefacts et permettent un meilleur profil de coupe. Les pitches sont étirés lorsque le rapport est supérieur à 1 ce qui réduit le temps d'acquisition et diminue l'exposition aux rayons X.

Les images de référence obtenues à la suite d'un scanner sont des coupes axiales. Toutefois plusieurs techniques de traitement de l'image permettent par la suite des reconstructions planaires ou en volume.

- Les reconstructions planaires permettent une reconstruction de coupes dans des plans choisis, linéaires ou courbes. L'opérateur peut sélectionner des voxels de densité moyenne, élevée (Maximum Intensity Projection ou MIP) ou peu élevée (Minimum Intensity Projection ou minIP). Ces coupes virtuelles peuvent présenter des artefacts notamment lorsque les coupes d'origine ne sont pas assez fines.
- La reconstructions 3D externe ou rendu surfacique permet « d'extraire » la surface de l'organe souhaité.
- La reconstruction 3D interne ou rendu volumique est basée sur la projection de l'ensemble des données acquises sur un volume choisi.

Enfin, tout comme en radiographie conventionnelle, l'opérateur peut recourir à des produits de contraste. Lorsque ce dernier permet une meilleure visualisation de la vascularisation on parle d'angioscanner. Il s'agit d'injecter un produit de contraste iodé en intraveineux et de détecter dans un premier temps l'arrivée du produit grâce à l'acquisition continue d'une coupe précise (première phase ou détermination des temps d'opacification maximale). Dans un second temps, une acquisition volumique rapide est réalisée lors du passage du produit de contraste dans les vaisseaux à étudier (deuxième phase ou examen hélicoïdal).

B) Mise en pratique dans l'examen de la vascularisation hépatique

L'animal, après la mise en place d'un cathéter dans la veine céphalique, est anesthésié, intubé et placé en décubitus dorsal ou sternal. Dans une hypothèse de recherche de shunt, un angioscanner corps entier est généralement réalisé. Le scanner hélicoïdal est préféré aux scanners à rotation séquentielle du fait de sa vitesse d'acquisition, plus adaptée à un examen chez l'animal.

Dans le cas d'un angioscanner simple phase, le premier temps consiste à déterminer le temps d'opacification maximal de la veine porte. Une injection de 0,55 mL/kg de produit de contraste à 3-5mL/s est réalisée via le cathéter. L'acquisition d'image est débutée dès l'injection. Des séries d'images axiales sont réalisées au niveau de L1-L2 ou T12-T13 toutes les 4 à 5 secondes. L'opérateur relève alors le temps d'opacification maximale de la veine porte. Ce temps est utilisé entre la seconde injection de produit de contraste et le lancement de

l'acquisition hélicoïdale. Ce temps varie entre 34,5 et 66 secondes chez les chiens sains et entre 16 et 70,5 secondes chez des chiens atteints de shunts (Frank et al. 2003).

Dans le cas d'un angioscanner double phase, l'arrivée du produit de contraste dans les vaisseaux (15% du pic d'opacification maximale) et le temps d'opacification maximale sont relevés. Une acquisition hélicoïdale de la phase artérielle est alors lancée avec le temps d'apparition du produit de contraste dans l'aorte abdominale crâniale. Une seconde acquisition est lancée au temps d'opacification maximale de la veine porte et correspond à la phase portale. Globalement, les valeurs des temps d'opacification varient selon les études. Il est conseillé de déterminer ces temps pour chaque animal car cette étape est rapide et permet une optimisation de l'examen.

L'injection de produit de contraste lors de la ou des phases hélicoïdales est de l'ordre de 2,2 mL/kg à 3-5mL/s. Les animaux sont hyper ventilés durant 30 secondes avant le lancement de l'acquisition puis mis en apnée forcée durant l'acquisition. Enfin, s'il ne s'agit pas d'un scanner corps entier, l'acquisition commence au niveau de L2-L3 et va jusqu'au dôme diaphragmatique. Une collimation de 3 à 5 mm est généralement utilisée et un pitch de 1 à 1,8 est fréquemment rapporté. Cette technique permet une excellente visualisation de la veine porte, de la veine cave caudale, de l'aorte et des shunts éventuels, et ce, même chez les petits animaux. Enfin, la réalisation d'un angioscanner double phase permet de souligner la circulation artérielle et veineuse hépatique (Frank et al. 2003; Thompson, Graham, Mariani 2003; Zwingenberger, Schwarz 2004; Zwingenberger, Schwarz, Saunders 2005).

En plus des images axiales classiquement obtenues, la réalisation de projections d'intensité maximum (MIP) et de rendu volumique (VR) a été étudiée (Bertolini et al. 2006). Ces outils techniques se révèlent très utiles dans l'évaluation de shunts complexes. En effet, les images obtenues peuvent être manipulées facilement pour examiner les relations spatiales entre les organes (Figure 38). Il est également possible d'isoler la vascularisation de certains organes (Figure 41) (Thompson, Graham, Mariani 2003). Enfin, ces techniques permettent une aide à la visualisation dans l'espace notamment lorsque l'opérateur est peu familier avec l'analyse des coupes transverses.

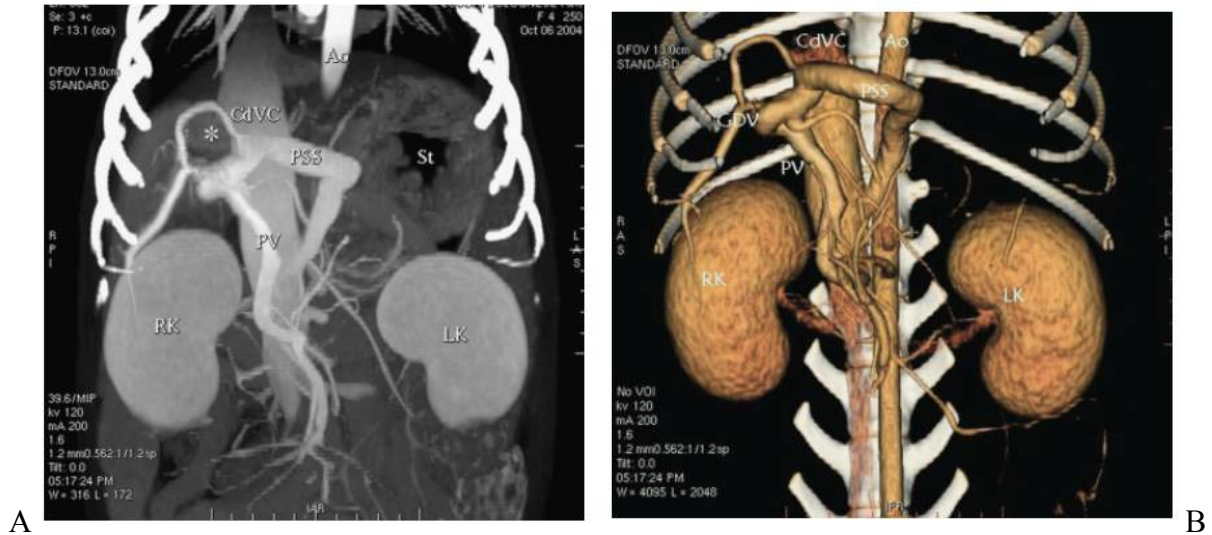


Figure 38 : Exemple d'images construites suite à un examen scanner chez un chien atteint d'un shunt porto-cave

A : Projection d'intensité maximale (MIP), B : Rendu volumique (VR)

CdVC : veine cave caudale, PV : veine porte, RK : rein droit, LK : rein gauche, St : estomac, Ao : aorte, PSS : shunt, * ou GDV : veines gastroduodénales (Bertolini et al. 2006)

C) Images normales

Les images d'un scanner et d'un angioscanner chez un animal sain permettent de visualiser le foie et la vascularisation hépatique normale telle qu'elle a été décrite dans la première partie. L'utilisation du produit de contraste permet de souligner l'ensemble des branches hépatiques.



Figure 39 : Images d'angioscanner chez un animal sain

H : artère hépatique, LG : artère gastrique gauche, HB : branche de l'artère hépatique, GD : veine gastroduodénale, RGA : artère gastrique droite (Wisner, Zwingenberger 2015)

Les artères hépatiques secondaires (entre 3 et 5 branches) émanent de l'artère hépatique principale (a). Ces branches desservent les lobes droits, gauches et centraux du foie. En coupe transversale, les artères hépatiques et leurs ramifications (flèche) sont situés ventralement à la veine porte (flèche vide) et à la veine cave caudale (*). Au sein du parenchyme hépatique, les artères hépatiques suivent les veines portales (flèches) (Figure 39) (Wisner, Zwingenberger 2015).

Le temps d'arrivée du produit de contraste ainsi que le temps d'opacification maximale ont été étudiés au sein des différents vaisseaux chez l'animal sain (Figure 40). Le temps d'opacification maximale de la veine porte par exemple varie entre 33 et 66 secondes chez les chiens sains (Frank et al. 2003; Zwingenberger, Schwarz 2004).

La durée d'apparition moyenne du produit de contraste dans l'aorte abdominale crâniale est de 8,6 secondes chez le chien sain et le pic d'opacification est obtenu après 12 secondes. Le contraste des artères hépatiques quant à lui débute en moyenne 4 secondes après l'apparition du contraste aortique chez l'animal sain.

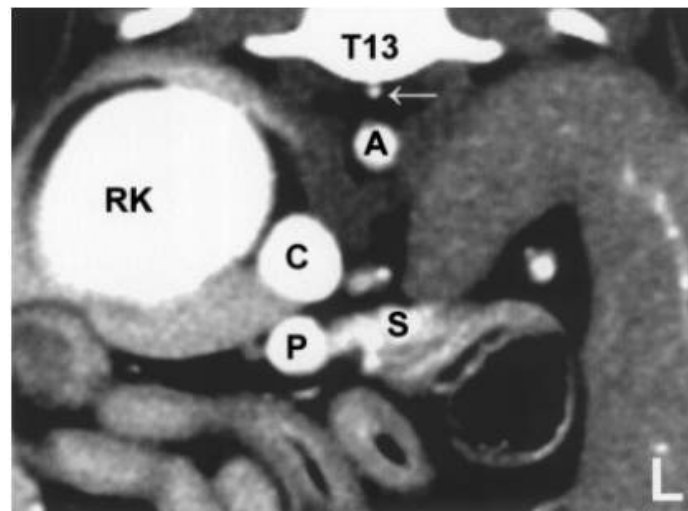


Figure 40 : Coupe transversale d'angioscanner obtenue chez un chien sain
RK : rein droit, P : veine porte, C : veine cave caudale, A : aorte, S : veine splénique
(Zwingenberger, Schwarz 2004)

D) Images lors de shunt portosystémique

Le scanner permet lors d'un shunt portosystémique, non seulement de visualiser le ou les vaisseaux anormaux mais aussi de mettre en évidence des anomalies secondaires au shunt. En effet, le volume hépatique par exemple peut être évalué. Pour cela, un opérateur trace les ROI de la région hépatique sur les images transverses en prenant soins d'exclure la vésicule biliaire

et les zones inter-lobaires. Une image en trois dimensions peut ainsi être générée et permet l'évaluation du volume hépatique. Ce volume est réduit d'environ 36,4% chez les chiens atteints de shunt portosystémique (Stieger et al. 2007). De même, le scanner permet la visualisation d'une éventuelle néphromégalie et d'urolithiases.

Chez les animaux atteints d'un shunt, le ou les vaisseaux anormaux sont visualisés et caractérisés. Ainsi, pour chaque patient, on peut préciser le type de shunt, son insertion, son origine, sa morphologie (Figure 41). Nelson et Nelson ont par exemple pu identifier en 2011 six types de shunts principaux chez 25 chiens atteints de shunt extrahépatiques (spléno-cave, spléno-phrénique, spléno-azygos, gastro-cave droit, double gastro-azygos droit et double gastro-cave droit) (Nelson, Nelson 2011).

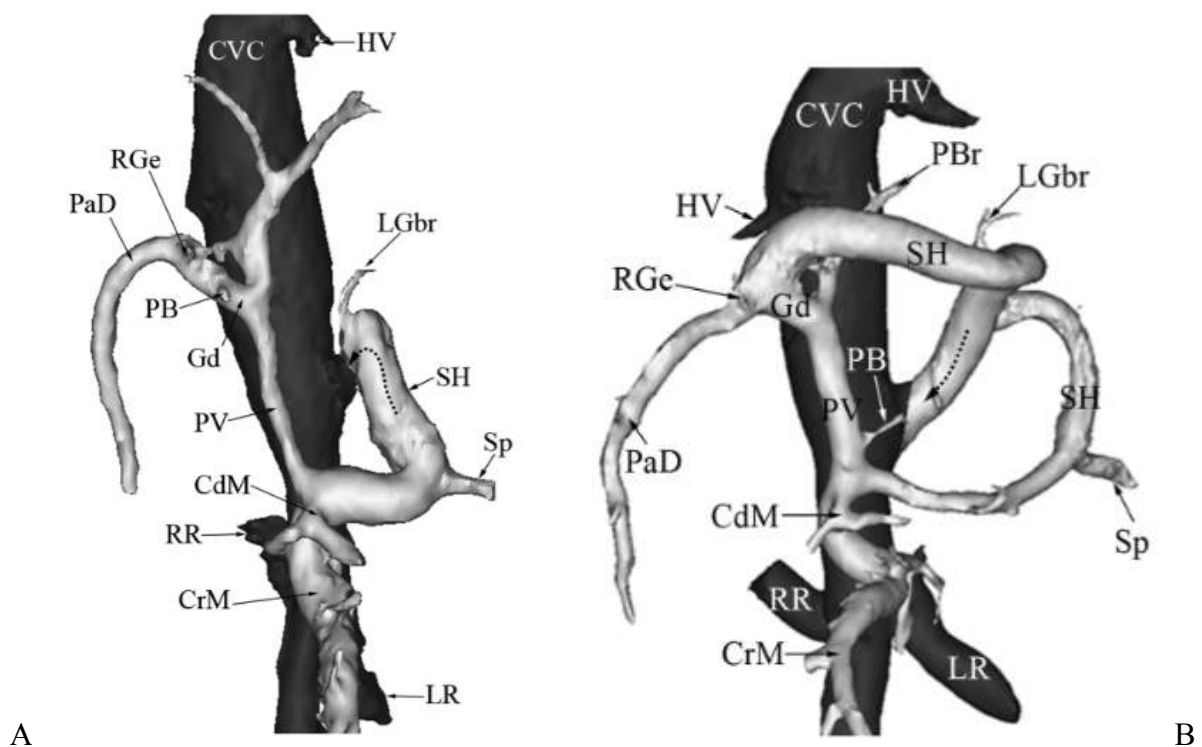


Figure 41 : Images 3D d'angiographie chez deux chiens atteints de shunts congénitaux
A : Shunt spléno-cave chez un chien en vue ventrale, B : Shunt gastrique droit chez un chien en vue ventrale

SH : shunt, PV : veine porte, Gd : veine gastroduodénale, PaD : veine pancréaticoduodénale, Sp : veine splénique, PB : branche pancréatique, LGbr : branche de la petite courbure de l'estomac, RGe : veine gastroépiploïque droite, CrM : veine mésentérique crâniale, CdM : veine mésentérique caudale, CVC : veine cave caudale, HV : veine hépatique, RR : veine rénale droite, LR : veine rénale gauche
(Nelson, Nelson 2011)

Les images obtenues permettent la visualisation en trois dimensions des rapports anatomiques entre les structures mais aussi la réalisation de certaines mesures telles que les diamètres de la veine porte, de l'aorte et du shunt (Nelson, Nelson 2011). Les ratios vus en échographie peuvent être calculés : le ratio PV/Ao est significativement plus élevé chez les chiens atteints de shunts spléno-phréniques que chez les chiens atteints de shunts spléno-azygos, spléno-cave ou gastro-cave droit (Fukushima et al. 2014).

Ces grands types de shunts connus, présentent une trame de base pour le clinicien car ils représentent les principales présentations anatomiques, même si d'infimes variations individuelles sont présentes. Toutefois, l'utilisation du scanner prend encore plus de sens dans le diagnostic et la caractérisation de shunts plus atypiques. En effet, de nombreux auteurs ont décrits des présentations inhabituelles ou complexes de shunts portosystémiques mis en évidence par l'imagerie scanner.

Un shunt intrahépatique complexe qui n'avait jamais été décrit a été caractérisé par D'Anjou *et al.* en 2008. Après une échographie abdominale, un scanner a été réalisé afin de mieux décrire le shunt. Il a permis de mettre en évidence un shunt intrahépatique droit, en boucle, présentant plusieurs communications entre la veine porte et la veine cave caudale (Figure 42) (D'Anjou, Huneault 2008).

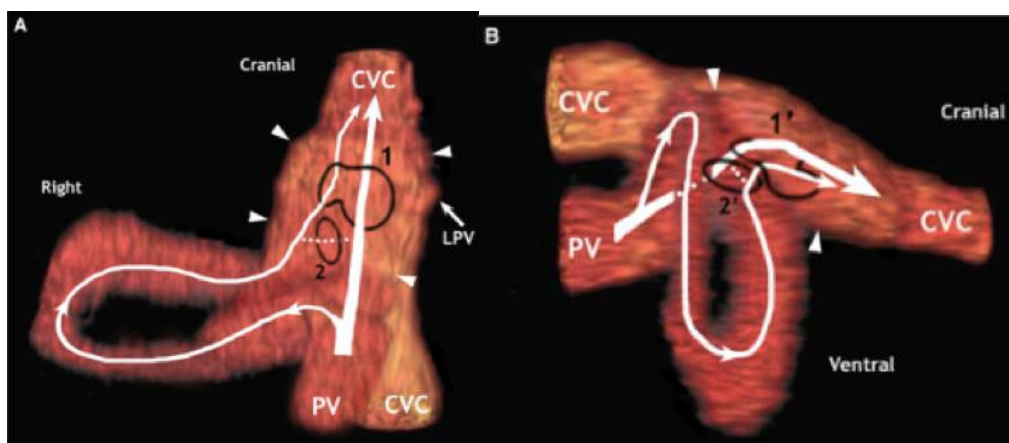


Figure 42 : Rendu volumique d'un shunt intrahépatique complexe

A : Vue ventrale, B : vue latérale droite

PV : veine porte, CVC : veine cave caudale, LPV : veine porte gauche

1 et 1' : première communication, 2 et 2' : seconde communication

(D'Anjou, Huneault 2008)

Plusieurs cas de shunts extrahépatiques complexes ou inhabituels ont également été décrits via la tomodensitométrie. C'est le cas en 2010, pour Brown *et al.* qui décrivent un shunt porto-cave dont l'origine se situe à l'abouchement des veines coliques dans la veine porte. Le

trajet du shunt est long et tortueux. Il prend fin dans la veine cave caudale, crânialement au rein gauche. Les veines rénales sont dupliquées et les veines rénales gauches communiquent avec le shunt (Figure 43) (Brown, Chanoit, Reeder 2010).

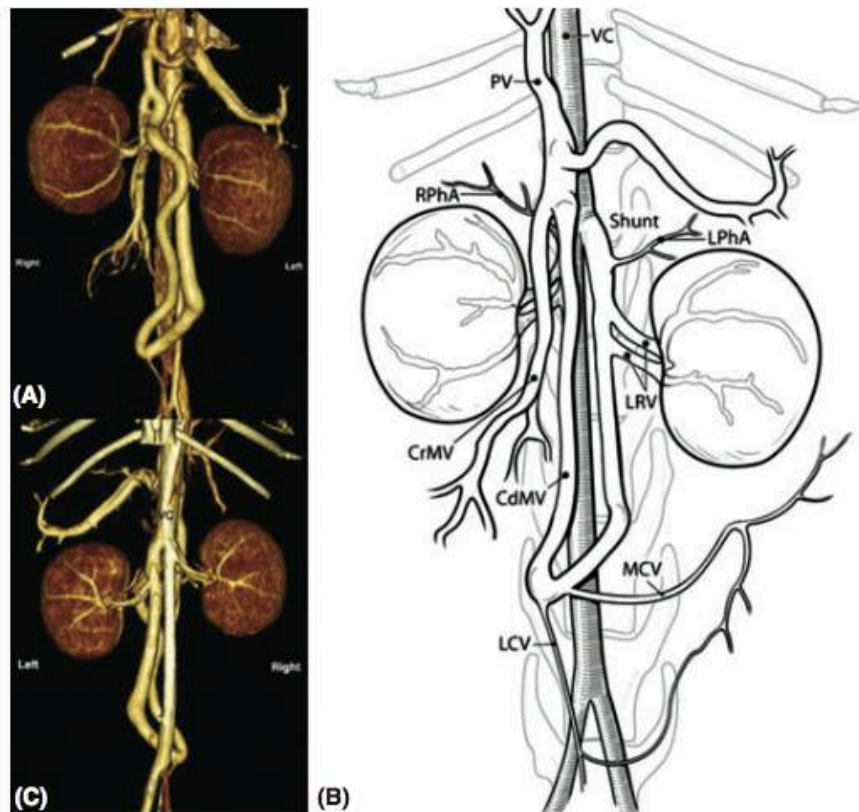


Figure 43 : Images scanner en rendu volumique et schéma d'un shunt porto-cave complexe

A : Vue ventrale, B : Représentation schématique de la vue ventrale, C : vue dorsale
 VC : veine cave caudale, PV : veine porte, RPhA : veine phrénicoabdominale droite, LPhA :
 veine phrénicoabdominale gauche, CrMV : veine mésentérique crâniale, CdMV : veine
 mésentérique caudale, MCV : veine colique moyenne, LCV : veine colique gauche
 (Brown, Chanoit, Reeder 2010)

En 2013, Leeamn *et al.* décrivent quant à eux un shunt extrahépatique congénital double impliquant un shunt porto-azygos et un shunt porto-rénal. Les vaisseaux anormaux n'ont pas pu être visualisés à l'échographie dans ce cas (Leeman *et al.* 2013).

Enfin, des anomalies congénitales plus complexes impliquant un shunt portosystémique sont décrites. C'est le cas par exemple lors d'une continuation azygos de la veine cave caudale (Fischetti, Kovak 2008), d'aplasie de la veine porte, d'interruption de la veine cave caudale (Leeman *et al.* 2013) ou bien lors certains cas de *Situs inversus* (Oui *et al.* 2013).

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

Le scanner est considéré comme la meilleure méthode d'imagerie pour le diagnostic des shunts portosystémiques chez l'homme (Thieman Mankin 2015). En médecine vétérinaire, il gagne de plus en plus en popularité et en accessibilité. Sa sensibilité est estimée à 96% et sa spécificité à 89% dans le diagnostic des shunts chez le chien. Il a été montré en 2013 que le scanner est supérieur à l'échographie en terme de précision et d'identification des caractéristiques anatomiques du shunt (Kim et al. 2013). Ainsi, il permet le diagnostic de shunts complexes qui restent difficilement évaluables à l'échographie. Le scanner vient donc souvent dans un second ou un troisième temps dans la démarche diagnostic, après la radiographie et l'échographie (Brown, Chanoit, Reeder 2010; D'Anjou, Huneault 2008). Cet outil diagnostic permet de planifier au mieux l'éventuelle chirurgie même s'il a été démontré que la réalisation d'un scanner n'affecte pas significativement le temps chirurgical, le taux de complication ou l'issue clinique (Brunson et al. 2016). Le scanner présente cependant quelques limites :

- Les petites branches de la veine porte sont parfois difficilement identifiées
- La résolution spatiale peut varier selon la taille de l'animal
- Les techniques de reconstruction peuvent conduire à l'inclusion d'erreur dans les images. Les images d'origine en coupe transversale doivent toujours être utilisées pour l'interprétation (Parry, White 2015).

Enfin, le scanner reste un examen complémentaire coûteux, parfois peu accessible selon les régions et nécessite une anesthésie générale (Tivers, Lipscomb 2011).

VI- Imagerie par résonance magnétique

A) Principe

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) repose sur le phénomène de résonance magnétique et utilise les propriétés des atomes d'hydrogène présents dans le corps. Aujourd'hui, les IRM sont très répandues en médecine humaine en France mais restent très peu développées pour la médecine vétérinaire. En effet, huit appareils sont à ce jour utilisés exclusivement pour les animaux.

Afin de mieux comprendre et interpréter les images obtenues par l'IRM, il convient de revenir sur quelques notions de physique nucléaire.

a) *Notions de physique nucléaire*

L'atome, constituant élémentaire de la matière, est constitué d'un noyau et d'un nuage d'électrons qui gravite autour. Le noyau est quant à lui formé de neutrons, électriquement neutres, et de protons, chargés positivement. Ces derniers sont animés d'un mouvement de rotation axial, appelé mouvement de précession (ou spin) qui peut être symbolisé par un vecteur s , aligné sur l'axe de rotation et dont la direction est liée à leur sens de rotation. De plus, leur charge positive associée à ce mouvement induit autour d'eux un champ magnétique microscopique. On peut représenter ce champ magnétique par un vecteur μ , de même direction et sens que s (Figure 44).

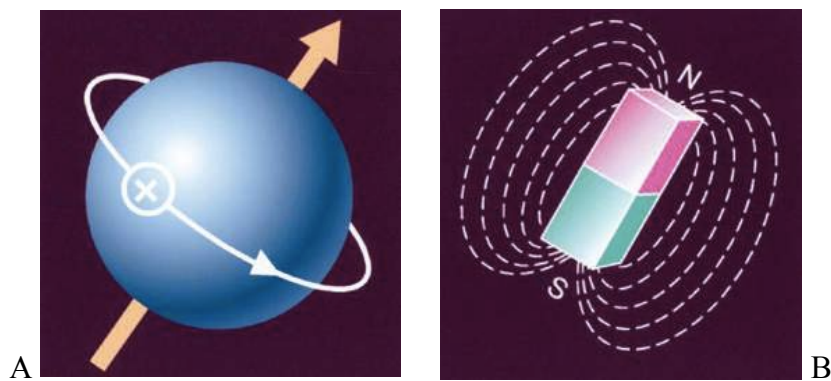


Figure 44 : Caractéristiques magnétiques du proton

A : mouvement de précession d'un proton, B : champ magnétique induit par un proton
(Pooya et al. 2004)

A l'état naturel, les protons d'un échantillon d'atomes d'hydrogène s'orientent aléatoirement et leurs aimantations ont tendance à s'annuler. Toutefois, si on applique un champ magnétique (représenté par le vecteur B_0) sur cet échantillon, les champs magnétiques microscopiques μ des protons se dirigent tous dans l'axe de B_0 . Les protons ne restent alors pas statiques dans cette position mais décrivent un mouvement de précession autour de l'axe de B_0 à une fréquence angulaire ω_0 (Figure 45). Une partie des protons s'oriente dans le sens inverse de B_0 : on dit qu'ils sont en position antiparallèle. L'autre partie s'orient dans le sens de B_0 , en position parallèle. Ces derniers sont légèrement plus nombreux ce qui entraîne la création d'un champ magnétique macroscopique, représenté par un vecteur M .

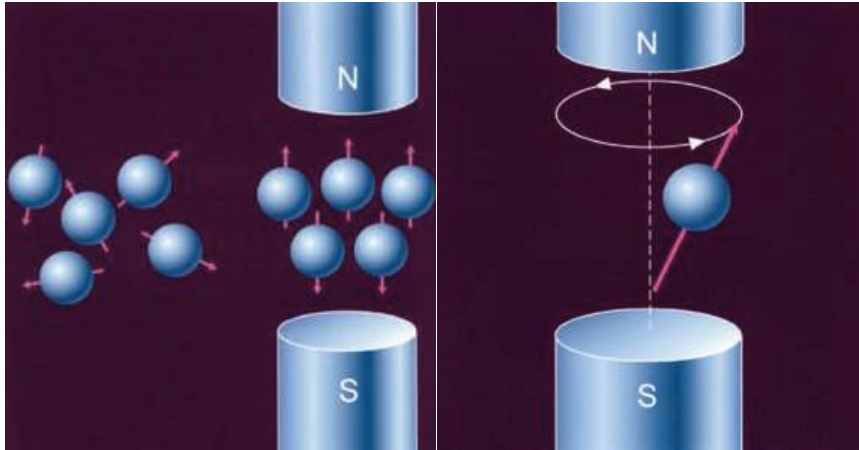


Figure 45 : Application d'un champ magnétique à un échantillon de protons (Pooya et al. 2004)

Lors de l'IRM, un second champ magnétique (B_1) est appliqué et perturbe cet état d'équilibre. Il s'agit d'une onde radiofréquence dont la fréquence de rotation ω_r doit être égale à ω_0 . Ainsi, ce champ provoque un basculement du champ magnétique macroscopique M : la composante longitudinale selon l'axe Oz diminue jusqu'à disparaître et une composante transversale (selon le plan Oxy) apparaît. M subit donc une impulsion de radiofréquence (RF) de 90° (Figure 46).

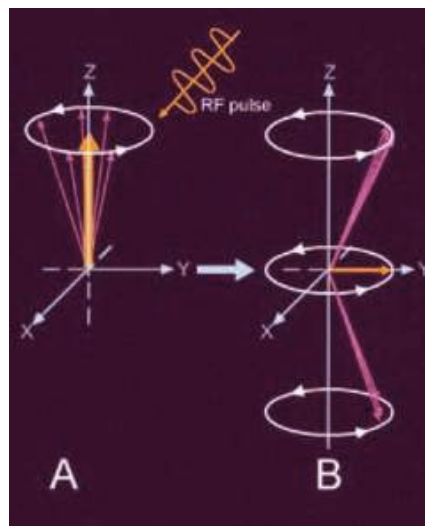


Figure 46 : Application d'une onde de radiofréquence (RF) aux protons soumis à un champ magnétique B_0 (Pooya et al. 2004)

A l'arrêt de cette onde de radiofréquence, les protons reviennent à leur état d'équilibre : la composante longitudinale réapparaît progressivement et la composante transversale disparaît. Ce retour à l'état d'équilibre implique une libération d'énergie et l'émission d'un signal. C'est

ce dernier qui est exploité afin d'obtenir une image en IRM (Caron 2008; Dillenseger, Moerschel 2009; Hoa 2008; Kastler, Vetter 2006; Pooya et al. 2004).

b) Application en imagerie

Le type de signal émis par les protons dépend principalement de deux paramètres :

- La relaxation longitudinale (T1) correspond à la réapparition progressive de la composante longitudinale. Cette relaxation est étudiée en fonction du temps : la courbe obtenue a une allure exponentielle. On définit ainsi T1 comme le temps qu'il faut à la composante longitudinale pour retrouver 63% de son état initial. Ce temps est propre à chaque tissu et augmente proportionnellement à l'augmentation de B_0 .
- La relaxation transversale (T2) correspond à la disparition progressive de la composante transversale. Cette relaxation est étudiée en fonction du temps : la courbe obtenue a une allure exponentielle décroissante. On définit ainsi T2 comme le temps qu'il faut à la composante transversale pour retrouver 37% de son état initial. Ce temps est propre à chaque tissu mais ne varie pas en fonction de B_0 (Figure 47).

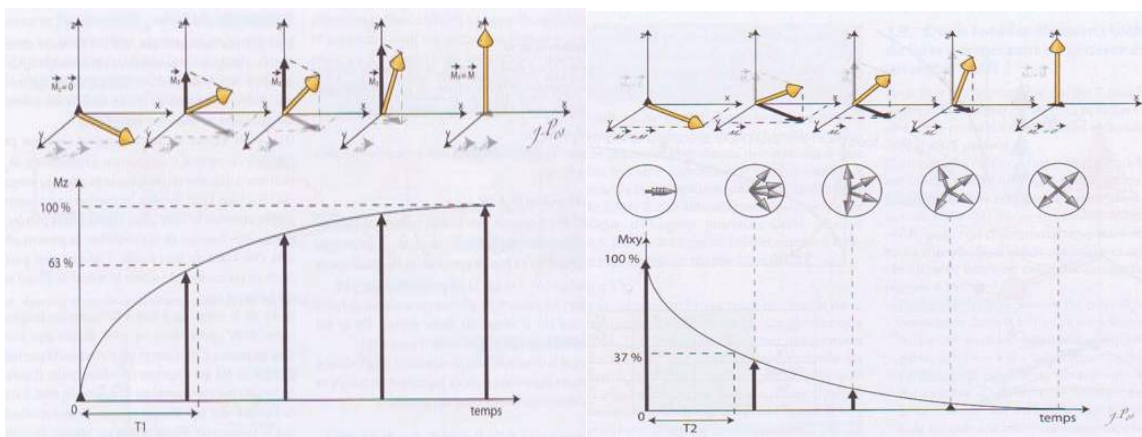


Figure 47 : Courbes de relaxation T1 et T2 (Dillenseger, Moerschel 2009)

Les temps T1 et T2 sont propres à chaque tissu (T1 est toujours largement supérieur à T2 pour un tissu donné). L'IRM forme ainsi des images caractéristiques de chaque tissu en fonction de son temps de relaxation.

Ainsi, lors de l'examen d'IRM, l'animal est placé dans le champ B_0 . On applique une séquence d'acquisition c'est à dire une suite d'ondes de radiofréquence (RF) 90° puis 180° (écho de spin) et on mesure les phénomènes de relaxation. Ce cycle est répété plusieurs fois.

Une séquence est caractérisée par différents paramètres qui permettent de visualiser les tissus en fonction de leur T1 ou de leur T2 :

- Le temps d'écho (TE) est le temps qui sépare l'impulsion de l'onde RF 90° et la mesure du signal. L'impulsion RF 180° est placée à TE/2
- Le temps de répétition (TR) est le temps qui sépare deux impulsions RF 90°. Il correspond au temps de relaxation longitudinale (T1).

Enfin, une angiographie par résonance magnétique peut être réalisée par injection d'un produit de contraste. Le gadolinium est le produit de contraste le plus employé en IRM. C'est une « terre rare », qui possède des propriétés ferromagnétiques. Il modifie les caractéristiques des tissus en accélérant leur temps de relaxation T1. Ainsi, ce n'est pas le produit de contraste en lui-même qui est visualisé en IRM mais ses effets sur les tissus. Le gadolinium peut être injecté par une voie intraveineuse ou dans une articulation.

Finalement, les images obtenues sont des images en coupe de la zone étudiée. Chaque plan est divisé en nombreux petits cubes appelés « voxels ». La taille de ces derniers conditionne la résolution spatiale de l'image. Un signal est émis par chaque voxel et enregistré durant l'acquisition. Ensuite, un codage du signal en plusieurs niveaux de gris est possible. Un signal élevé est représenté en blanc (hyper-intense) et un signal faible est représenté en noir (hypo-intense).

Comme dans les autres techniques d'imagerie, des artefacts existent et peuvent conduire à de mauvais diagnostics. Il convient de connaître un maximum d'artefacts pour la méthode utilisée afin de distinguer les images construites et les lésions réelles. Les principaux artefacts peuvent découler d'un mauvais réglage ou d'un mauvais positionnement. On retrouve des cas d'inhomogénéité du champ magnétique ou des défauts dans le blindage radio par exemple lorsque quelqu'un entre dans la salle lors d'une acquisition. De nombreux artefacts peuvent être imputables à un mouvement, soit de l'animal en lui-même, soit de sa respiration ou de son péristaltisme. Certaines images peuvent enfin être anormales lorsque des matériaux magnétiques se trouvent dans l'animal. C'est le cas lors de la présence de matériel orthopédique, de plombs ou même d'un transpondeur électronique lors de l'étude de la région cervicale (Caron 2008; Dillenseger, Moerschel 2009; Hoa 2008; Kastler, Vetter 2006; Pooya et al. 2004).

B) Mise en pratique

L'examen d'IRM chez l'animal est réalisé sous anesthésie générale afin de limiter les mouvements et de réduire la motilité du tractus gastro-intestinal. L'animal est la plupart du temps placé en décubitus dorsal.

Plusieurs séquences sont couramment utilisées : FSPGR (Wisner, Zwingenberger 2015), TOF, pondération T2, STIR et pondération T1 avant et après injection de produit de contraste (Gavin, Bagley 2009).

- La séquence FSPGR est une suite d'écho de gradient ultra rapide qui est adaptée à la surveillance de l'arrivée du bolus de produit de contraste.
- La séquence TOF (time of flight) quant à elle utilise une pulsation à saturation sur une tranche en volume ce qui annule tout signal dans la tranche d'acquisition. Le flux sanguin est le seul signal admis et détecté après soumission à une onde radio (Figure 48). Cette méthode serait autant voire plus robuste pour l'examen de sang à faible vitesse de flux qu'une étude de contraste. Du gadolinium peut être administré pour augmenter la perceptibilité du sang. Son utilisation permet de contrer la suppression de signal dans vaisseaux parallèles à la tranche d'acquisition. Ainsi l'ensemble du vaisseau, même lorsqu'il est tortueux, est souligné (Gavin, Bagley 2009).

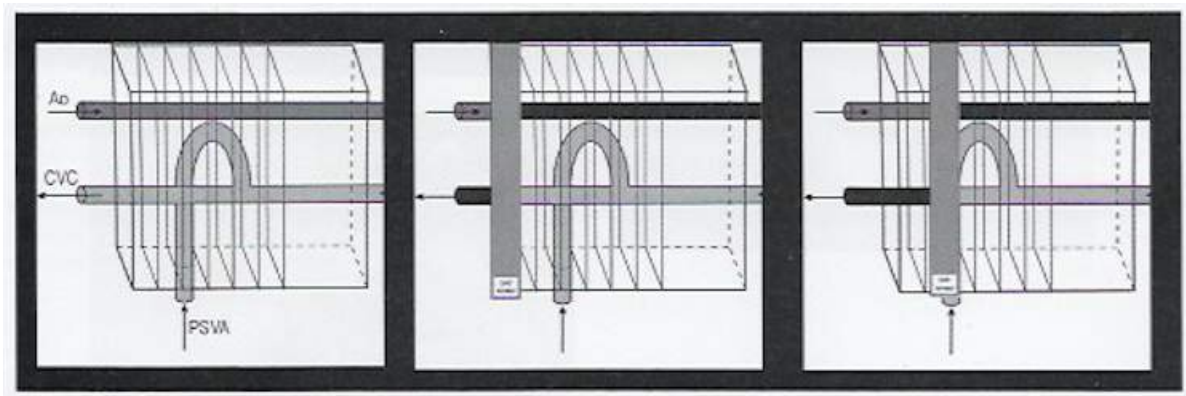


Figure 48 : Représentation schématique du principe de la séquence TOF

Gauche : Représentation schématique de la situation anatomique, Milieu : La bande de saturation est appliquée séquentiellement, tranche par tranche, de plus en plus caudalement, Droite : Lorsqu'un vaisseau se trouve parallèle dans la bande de saturation alors il est lui aussi annulé

CVC : veine cave caudale, Ao : aorte, PSVA : anomalie vasculaire portosystémique, SAT BAND : bande de saturation
(Gavin, Bagley 2009)

- La séquence en pondération T2 est un des gold standard des séquences IRM. Elle permet d'obtenir relativement rapidement des images sur lesquelles à la fois les graisses et les fluides sont visibles avec une bonne intensité. Certains systèmes permettent d'obtenir ces images avec une suppression des graisses afin d'augmenter la perceptibilité des fluides. Pour obtenir ces images, on utilise un TE long. En effet, plus le TE est long plus la différence de relaxation transversale entre deux tissus caractérisés par des T2 différents sera grande ce qui engendre un meilleur contraste (Figure 49). De plus, afin de minimiser la pondération en T1, on utilise un TR long.

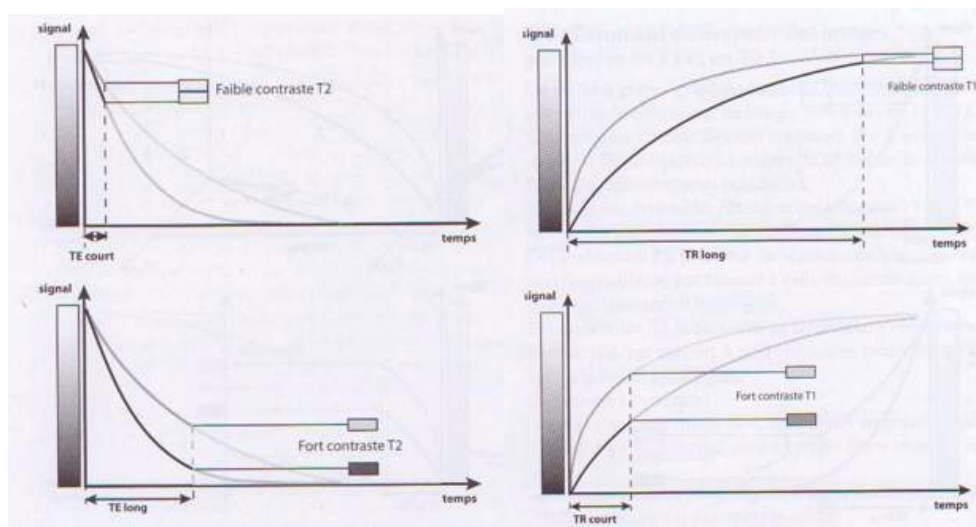


Figure 49 : Influence du TE et du TR sur la pondération en T1 et T2 (Dillenseger, Moerschel 2009)

- La séquence en pondération T1 permet de favoriser les informations T1 des tissus. Pour obtenir un bon contraste entre deux tissus en T1 il faut donc cibler leur différence de relaxation longitudinale. Si un TR long est appliqué, alors le retour à l'état initial des protons des deux tissus sera quasi complet et la différence entre les deux sera donc minime. En revanche, avec un TR court, la relaxation sera incomplète. Ainsi le tissu avec un T1 faible aura retrouvé la majeure partie de sa composante longitudinale alors que le tissu avec un T1 plus élevé n'aura retrouvé qu'une petite partie de cette composante (Figure 49). Au final, un meilleur contraste sera observé. De plus, on applique un TE court pour minimiser la pondération en T2. Sur ces images, les graisses sont hyper intenses et les fluides hypo intenses.
- La séquence STIR est une séquence pondérée en T2 avec une atténuation uniforme des graisses.

Lors de l'utilisation de gadolinium, une acquisition pré-contraste est systématiquement réalisée. La seconde séquence est ensuite initiée à la fin de l'injection du produit de contraste. Le gadolinium est injecté à la dose de 0,1-0,3 mmol/kg, généralement manuellement, à la vitesse de 2,5- 3 mL/s et suivi d'un flush à l'aide de 5 mL de NaCl 0,9% (Mai 2009).

Secondairement, tout comme pour le scanner, les images peuvent être traitées et de nouvelles vues sont générées. Ainsi des projections d'intensité maximales peuvent être obtenues (MIP) mais aussi des reconstructions 3D ou des reconstructions transverses multi-plans (MPR).

Certaines études estiment à environ une heure le temps nécessaire à l'acquisition de l'IRM et l'étude des images dans la recherche d'un ou de shunt(s) (Seguin et al. 1999).

Enfin, la sécurité est primordiale dans la salle d'examen. Les problématiques de sécurité concernent principalement les objets ferromagnétiques pouvant se trouver à proximité de l'aimant. Ainsi, des objets tels qu'une bouteille d'oxygène ou un moniteur ECG peuvent devenir des projectiles potentiellement dangereux et mortels dans une salle d'IRM. Toutes les personnes entrant dans la salle doivent donc se voir expliquer les consignes de sécurité (Gavin, Bagley 2009).

C) Images normales

Les structures abdominales peuvent être identifiées selon leur localisation et leurs caractéristiques. Certaines peuvent nécessiter plusieurs coupes différentes pour les décrire de manière exhaustive.

En IRM, l'apparence des organes peut être très différentes selon le TR, le TE mais aussi la séquence choisie. De manière générale, le foie est hyper-intense pour les séquences en T1 et iso-intense pour les séquences en T2. Les différents lobes sont généralement de même intensité. Les structures vasculaires hépatiques sont relativement facilement identifiables et sont hypo-intenses en T1 et hyper-intenses en T2 (Gavin, Bagley 2009).

Chez les animaux sains, les images obtenues lors d'un IRM de contraste permettent une identification facile du système artériel, durant le premier passage du gadolinium, sans aucune contamination veineuse. Les origines de l'artère cœliaque et de l'artère mésentérique crâniale depuis l'aspect ventral de l'aorte sont clairement soulignées. De nombreuses branches artérielles desservant le foie peuvent être identifiées. De même, la veine porte pré-hépatique ainsi que ses affluents sont aisément visualisés durant la phase portale. En utilisant des

combinaisons de projections d'intensité maximale (MIP) et des rendus volumiques, l'ensemble du système porte peut être étudié. Les branches intrahépatiques sont visibles et des rotations du plan en MIP permettent une visualisation optimale des branches spécifiques jusqu'à leur terminaison. Chez les animaux sains, il est rapporté un temps artériel d'environ 9 secondes et un temps portal à 14 secondes après injection de gadolinium dans une veine céphalique (Mai 2009).

Les images obtenues lors d'une séquence time of flight (TOF) permettent d'apprécier la disposition de la veine porte, de son origine jusqu'à son arborisation dans le parenchyme hépatique ainsi que la veine cave caudale. Des reconstructions MIP ou bien en volume permettent d'étudier les relations anatomiques entre les différents vaisseaux pouvant intervenir dans un shunt portosystémique (Figure 50).

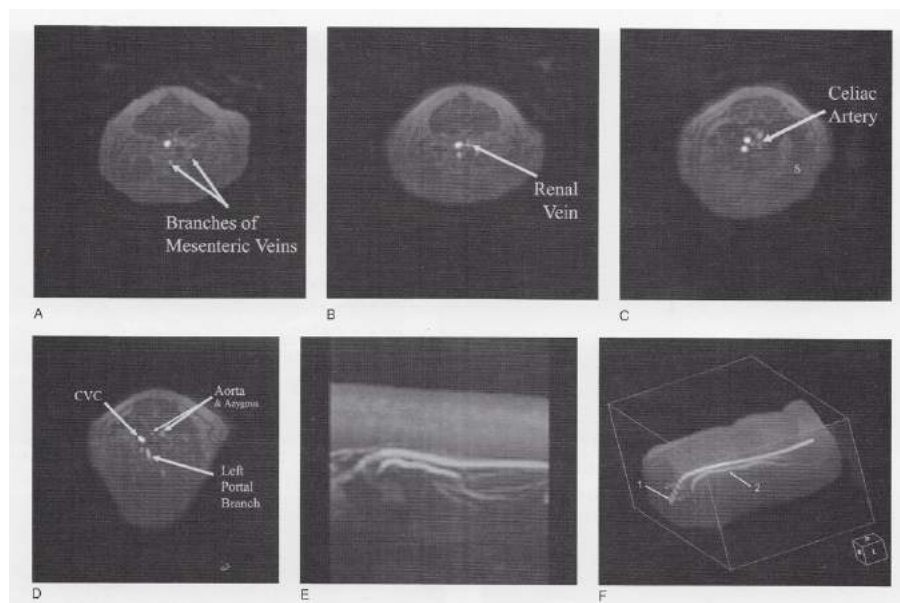


Figure 50 : Images d'une séquence TOF chez un animal sain

A-D : Images transversales d'IRM TOF normaux, E : MIP d'une acquisition TOF normale,

F : Rendu 3D d'une acquisition TOF normale

CVC : veine cave caudale, 1 : veine cave caudale, 2 : veine porte

(Gavin, Bagley 2009)

D) Images lors de shunt portosystémique

a) Anomalies vasculaires

Tout comme pour le scanner, les images IRM permettent dans la grande majorité des cas, une visualisation du shunt. Une communication anormale entre un vaisseau porte et un vaisseau systémique peut être mise en évidence. De plus, les images permettent une caractérisation précise du shunt avec l'identification de son origine, de sa terminaison et de son trajet (Mai, Weisse 2011). Ainsi de nombreuses études ont montré l'intérêt de l'IRM dans le diagnostic de shunts extrahépatiques (porto-cave, porto-phréniques, porto-azygos...) mais aussi intrahépatiques à division gauche, droite ou centrale (Bruehschwein et al. 2010; Mai, Weisse 2011).

Au delà de l'identification du vaisseau anormal, les images d'IRM permettent l'appréciation de caractéristiques secondaires au shunt. C'est le cas par exemple de dilatations veineuses, caudalement au shunt, de diamètres de veine porte réduits... Elle permettent également l'identification de boucles dans des cas de shunts atypiques et de manière générale, l'évaluation de shunts complexes et éventuellement multiples (Gavin, Bagley 2009).

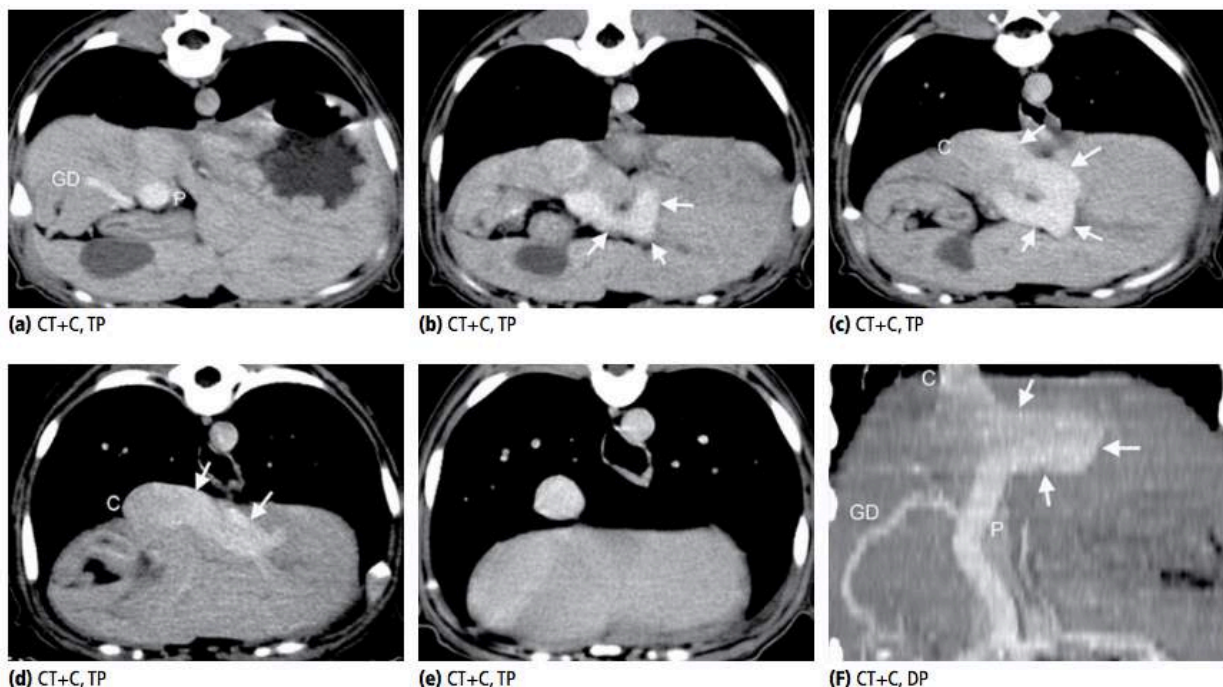


Figure 51 : Images IRM d'un shunt congénital intrahépatique à division gauche chez un chien

a-e : Images transversales crâniales à caudales, f : projection en vue dorsale

GD : veine gastroduodénale, P : veine porte, C : veine cave caudale

(Wisner, Zwingenberger 2015)

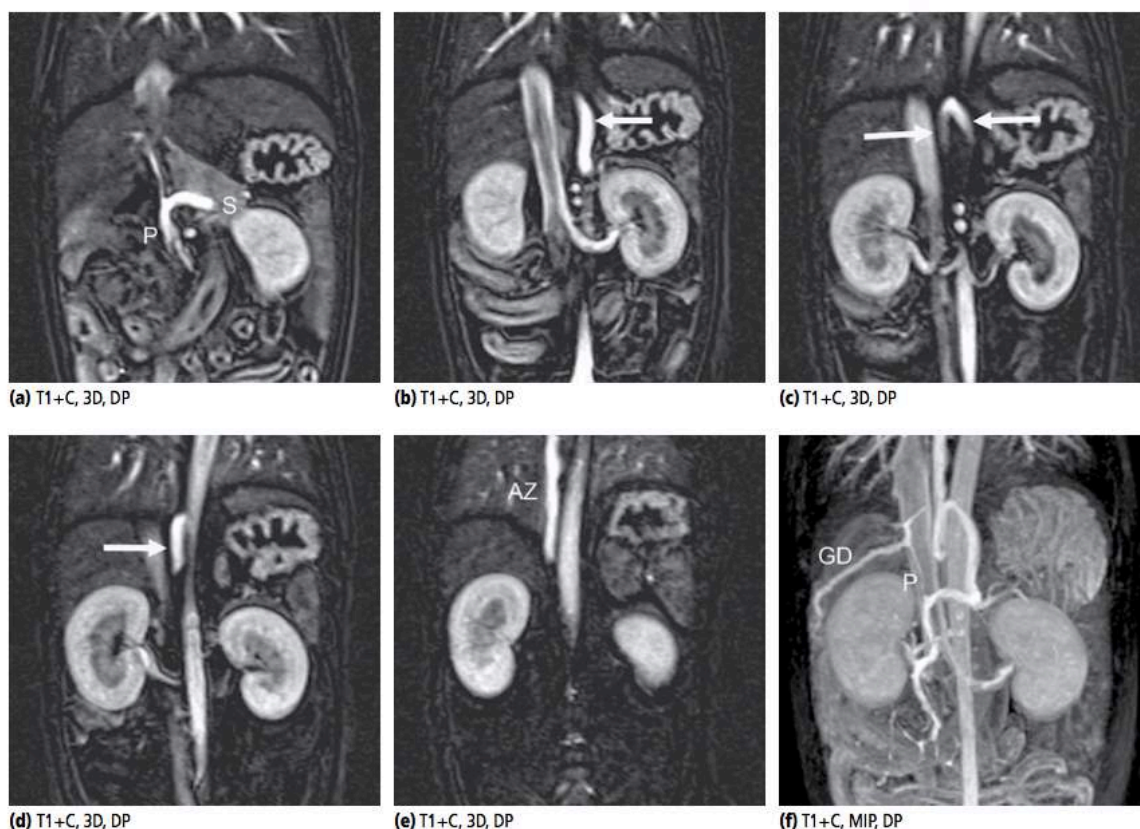


Figure 52 : Reconstitutions d'images IRM d'un shunt congénital spléno-azygos chez un chien
a-e : Reconstitutions en coupes frontales de ventrale à dorsale, f : reconstruction MIP
P : veine porte, S : veine splénique, AZ : veine azygos, GD : veine gastroduodénale
(Wisner, Zwingenberger 2015)

b) Anomalies cérébrales

Dans le cadre du développement de l'IRM, des acquisitions d'images des structures cérébrales ont été réalisées chez les animaux atteints de shunts portosystémiques. Ces images montrent des modifications structurales relativement constantes. En effet, sur des images en T2 ou en séquence FLAIR, des zones hyper-intenses, bilatérales, symétriques et diffuses sont fréquemment retrouvées dans le cortex cérébral (Gavin, Bagley 2009; Moon et al. 2012). Cette lésion est interprétée comme la représentation des anomalies métaboliques cérébrales associées à l'encéphalose hépatique. Les auteurs rapportent que ces lésions sont retrouvées chez les animaux présentant une clinique d'encéphalose hépatique mais aussi chez les animaux sans atteinte neurologique ce qui traduit l'existence d'une encéphalose subclinique (Gavin, Bagley 2009).

En 2005 et 2008, Torisu *et al.* ont mis en évidence une hyper-intensité du noyau lenticulaire sur les images en T1 de 10 chiens sur 13 atteints de shunts congénitaux. Ils ont

également pu mettre en relation cette hyper-intensité avec une accumulation de manganèse au sein du noyau lenticulaire sans toutefois pouvoir relier cette accumulation à des signes cliniques d'encéphalose hépatique (Torisu et al. 2008).

Ainsi, même si les anomalies cérébrales ne sont pas les premières caractéristiques recherchées lors d'une recherche de shunt la visualisation de ces zones hyperintenses permet de compléter le tableau lésionnel et d'affiner la prise en charge de l'animal.

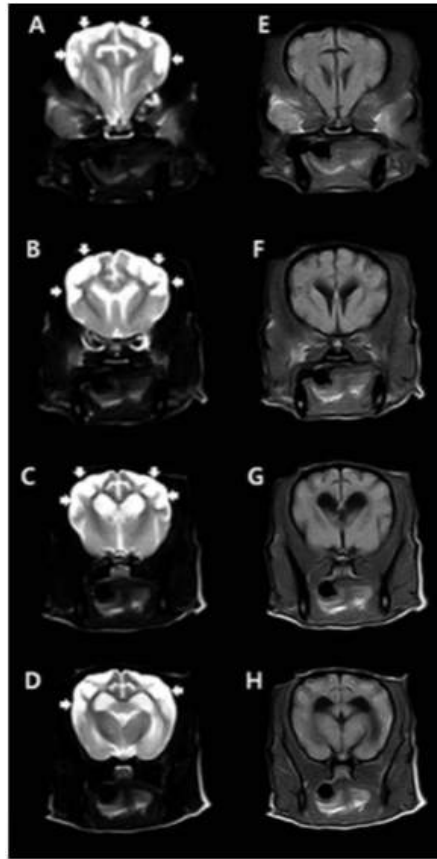


Figure 53 : IRM cérébral d'un chien atteint d'un shunt portosystémique
A-D : Coupes transversales en T2, E-H : Coupes transversales en T1
(Moon et al. 2012)

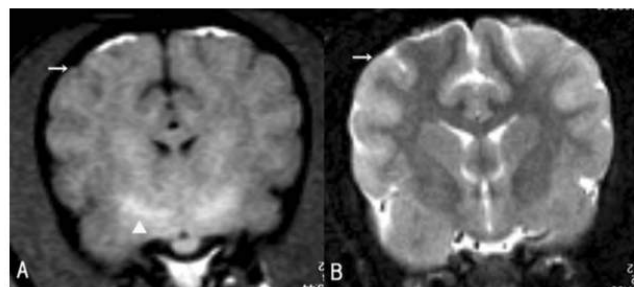


Figure 54 : Hyperintensité du noyau lenticulaire en IRM lors de shunt congénital
A : Coupe transversale en T1, B : Coupe transversale en T2
(Torisu et al. 2008)

E) Avantages et inconvénients de cette méthode

L'imagerie par résonance magnétique est une méthode non invasive, relativement rapide et qui permet une bonne représentation en 3D des vaisseaux (Mai, Weisse 2011; Santilli, Gerboni 2003). Ces caractéristiques lui donnent une place de choix dans le diagnostic des shunts portosystémiques chez les carnivores domestiques. Les différents auteurs rapportent une sensibilité de 79% et une spécificité de 100% dans le diagnostic des shunts uniques congénitaux et une sensibilité de 63% associée à une spécificité de 97% dans le diagnostic de shunts extrahépatiques multiples (Santilli, Gerboni 2003; Thieman Mankin 2015). Toutefois, de nombreux articles soulignent que la tomodensitométrie permet d'avoir un aussi bon détail dans l'évaluation des structures vasculaires, plus rapidement et à un coût plus réduit (Thieman Mankin 2015). Ainsi les limites majeurs de l'utilisation de l'IRM de nos jours en médecine vétérinaire restent la disponibilité de l'équipement, son coût et le recours à une anesthésie générale (Santilli, Gerboni 2003). Enfin, l'IRM ne permet pas l'identification précise de cristaux rénaux ou urinaires, fréquents lors de shunts. Il est conseillé de réaliser une échographie urinaire secondairement si un shunt est mis en évidence (Mai, Weisse 2011).

VII- Bilan : comparatif des méthodes

Face à une suspicion clinique de shunt portosystémique, le clinicien dispose d'un panel d'exams d'imagerie possibles. De nombreux paramètres sont à prendre en compte pour orienter son choix (Tableau 5). Le degré d'avancement dans la prise en charge du cas est un premier critère. En effet, le vétérinaire peut avoir besoin d'une méthode peu spécifique, telle que la radiographie ou l'échographie abdominale générale si le diagnostic différentiel est encore large. A l'inverse si la suspicion de shunt est très forte, le clinicien s'orientera préférentiellement vers une méthode plus spécifique. De plus, de nombreux paramètres propres à chaque technique peuvent orienter son choix, à savoir le coût, la disponibilité, le caractère invasif ou non ... Enfin, si certaines techniques permettent un diagnostic et un traitement chirurgical au cours de la même intervention, il faut garder en tête que toutes les méthodes ne donnent pas le même degré de détail. De plus, outre le simple diagnostic de shunt portosystémique, le recours à une méthode d'imagerie peut également avoir pour objectif d'orienter la prise en charge et de délivrer des informations pronostics aux propriétaires de

l'animal. Enfin, toutes les techniques peuvent être utilisées pour le suivi post-opératoire à court et long terme d'un animal dont le shunt a été ligaturé.

	Avantages	Inconvénients
Radiographie	Rapide Simple, non invasif Peu coûteux Disponibilité	Pas de diagnostic Non spécifique
Angiographie	Diagnostic définitif possible Evaluation de la vascularisation intrahépatique Permet diagnostic et traitement durant la même procédure	Invasif Peu disponible Coût Temps anesthésique et chirurgical augmenté
Echographie	Disponible Peu coûteux Non invasif Diagnostic définitif possible, évaluation anatomique du shunt	Opérateur dépendant Possiblement recourt à une sédation
Scintigraphie	Non invasif Diagnostic définitif possible, information sur le degré de shunt	Sédation ou anesthésie Peu disponible Mesures de sécurité Informations limitées sur la localisation et l'anatomie du shunt
Scanner	Diagnostic définitif possible	Coût
IRM	Détails anatomiques du shunt	Disponibilité Anesthésie

Tableau 5 : Avantages et limites des méthodes d'imagerie disponibles dans le diagnostic des shunts portosystémiques chez les carnivores domestiques

AGREMENT SCIENTIFIQUE

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

Je soussigné, Fabrice CONCHOU, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Pauline GAUTHIER** intitulée « **Synthèse bibliographique portant sur les shunts porto systémiques chez les carnivores domestiques** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 30 Août 2018
Docteur Fabrice CONCHOU
Maître de Conférences
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



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



Vu :
Le Président du jury :
Professeure Isabelle BERRY


Faculté de Médecine Rangueil
Biophysique Médicale - CHU Rangueil
1, avenue Jean Poulhès - TSA 50032
31059 TOULOUSE Cedex

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

Le Président de l'Université Paul Sabatier
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU

Régine ANDRE-OBRECHT



Bibliographie

ANDERSON, M.P., HECHT, S., HOLFORD, A.L. et HICKS, D.A., 2010. Veterinary Medicine Today What Is Your Diagnosis. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2010. Vol. 236, n° 4, pp. 401-402.

BARONE, R., 2011. *Anatomie Comparée Des Mammifères Domestiques. Tome cinquième. Angiologie*. Vigot.

BERENT, A.C. et TOBIAS, K.M., 2009. Portosystemic Vascular Anomalies. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2009. Vol. 39, n° 3, pp. 513-541.

BERTOLINI, G., ROLLA, E.C., ZOTTI, A. et CALDIN, M., 2006. Three-Dimensional Multislice Helical Computed Tomography Techniques For Canine Extra-Hepatic Portosystemic Shunt Assessment. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2006. Vol. 47, n° 5, pp. 439-443.

BERTOLINI, G., 2010. Acquired Portal Collateral Circulation In The Dog And Cat. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2010. Vol. 51, n° 1, pp. 25-33.

BROWN, J.C., CHANOIT, G. et REEDER, J., 2010. Complex Extrahepatic Portocaval Shunt With Unusual Caval Features In A Cat: Computed Tomographic Characterisation. *Journal of Small Animal Practice*. 2010. Vol. 51, n° 4, pp. 227-230.

BRUEHSCHWEIN, A., FOLTIN, I., FLATZ, K., ZOELLNER, M. et MATIS, U., 2010. Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Angiography For Diagnosis Of Portosystemic Shunts In 10 Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2010. Vol. 51, n° 2, pp. 116-121.

BRUNSON, B.W., BRAD CASE, J., ELLISON, G.W., FOX-ALVAREZ, A., KIM, Stanley E., WINTER, M., GARCIA-PEREIRA, F.L. et FARINA, L.L., 2016. Evaluation Of Surgical Outcome, Complications, And Mortality In Dogs Undergoing Preoperative Computed Tomography Angiography For Diagnosis Of An Extrahepatic Portosystemic Shunt : 124 Cases (2005-2014). *The Canadian Veterinary Journal*. 2016. Vol. 57, pp. 59-64.

CARON, A., 2008. *L'imagerie Par Résonance Magnétique (IRM) : Topographie Du Rachis De Chiens Sains Et Exemples D'Application Au Diagnostic De Quelques Affections Rachidiennes*. Thèse de doctorat vétérinaire. Oniris.

COLE, R.C., MORANDI, F., AVENELL, J. et DANIEL, G.B., 2005. Trans-Splenic Portal Scintigraphy In Normal Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2005. Vol. 46, n° 2, pp. 146-152.

D'ANJOU, M.A. et HUNEAULT, L., 2008. Imaging Diagnosis-Complex Intrahepatic Portosystemic Shunt In Dog : Complex Intrahepatic PSS. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2008. Vol. 49, n° 1, pp. 51-55.

D'ANJOU, M.A., PENNINCK, D., CORNEJO, L. et PIBAROT, P., 2004. Ultrasonographic Diagnosis Of Portosystemic Shunting In Dogs And Cats. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2004. Vol. 45, n° 5, pp. 424-437.

D'ANJOU, M.A., 2007. The Sonographic Search for Portosystemic Shunts. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*. 2007. Vol. 22, n° 3, pp. 104-114.

DILLENSEGER, J.P. et MOERSCHEL, E., 2009. *Guide Des Technologies De L'Imagerie Médicale Et De La Radiothérapie*. Masson. Issy les Moulineaux.

EVANS, H.E. et DE LAHUNTA, A., 2013. *Anatomy Of The Dog*. 4. Elsevier. Miller's.

FERRELL, E.A., GRAHAM, J.P., HANEL, R., RANDELL, S., FARESE, J.P. et CASTLEMAN, W.L., 2003. Simultaneous Congenital And Acquired Extrahepatic Portosystemic Shunts In Two Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2003. Vol. 44, n° 1, pp. 38–42.

FISCHETTI, A.J. et KOVAK, J., 2008. Imaging Diagnosis : Azygous Continuation Of The Caudal Vena Cava With And Without Portocaval Shunting. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2008. Vol. 49, n° 6, pp. 573-576.

FRANK, P., MAHAFFEY, M., EGGER, C. et CORNELL, K.K., 2003. Helical Computed Tomographic Portography In Ten Normal Dogs And Ten Dogs With A Portosystemic Shunt. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2003. Vol. 44, n° 4, pp. 392–400.

FUKUSHIMA, K., KANEMOTO, H., OHNO, K., TAKAHASHI, M., FUJIWARA, R., NISHIMURA, R. et TSUJIMOTO, H., 2014. Computed Tomographic Morphology And Clinical Features Of Extrahepatic Portosystemic Shunts In 172 Dogs In Japan. *The Veterinary Journal*. 2014. Vol. 199, n° 3, pp. 376-381.

GAVIN, P.R. et BAGLEY, R.S., 2009. *Practical Small Animal MRI*. Wiley-Blackwell.

GÓMEZ-OCHOA, P., LLABRÉS-DÍAZ, F., RUIZ, S., CORDA, A., PRIETO, Saul, SOSA, I., GREGORI, T., GASCÓN, M. et COUTO, G.C., 2011. Use Of Transsplenic Injection Of Agitated Saline And Heparinied Blood For The Ultrasonographic Diagnosis Of Macroscopic Portosystemic Shunts In Dogs : Transsplenic Injection of Agitated Saline in Portosystemic Shunt. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2011. Vol. 52, n° 1, pp. 103-106.

HOA, D., 2008. La Résonance Magnétique Nucléaire. [En ligne]. 26 décembre 2008. [Consulté le 8 août 2018]. Disponible à l'adresse : www.imaios.com

HOLLOWAY, A. et MCCONNELL, J.F., 2013. *Manual of Canine and Feline Radiography and Radiology*. BSAVA.

HUNT, G.B., 2004. Effect Of Breed On Anatomy Of Portosystemic Shunts Resulting From Congenital Diseases In Dogs And Cats : A Review Of 242 Cases. *Australian Veterinary Journal*. 2004. Vol. 82, n° 12, pp. 746-749.

KALT, D.J. et STUMP, J.E., 1993. Gross Anatomy Of The Canine Portal Vein. *Anatomia, histologia, embryologia*. 1993. Vol. 22, n° 2, pp. 191-197.

KASTLER, B. et VETTER, D., 2006. *Comprendre L'IRM, Manuel D'Auto-Apprentissage*. Elsevier-Masson. Issy les Moulineaux.

KIM, S.E., GIGLIO, R.F., REESE, D.J., REESE, S.L., BACON, N.J. et ELLISON, G.W., 2013. Comparison Of Computed Tomographic Angiography And Ultrasonography For The Detection And Characterization Of Portosystemic Shunts In Dogs : CT vs Ultrasound for Portosystemic Shunts in Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2013. Vol. 54, n° 6, pp. 566-574.

LAMB, C.R. et BURTON, C.A., 2004. Doppler Ultrasonographic Assessment Of Closure Of The Ductus Venosus In Neonatal Irish Wolfhounds. *Veterinary Record*. 2004. Vol. 155, pp. 699-701.

LAMB, C.R. et WHITE, R.N., 1998. Morphology Of Congenital Intrahepatic Portocaval Shunts. *Veterinary Record*. 1998. Vol. 142, pp. 55-60.

LEE, K.C., LIPSCOMB, V.J., LAMB, C.R., GREGORY, S.P., GUITIAN, J. et BROCKMAN, D.J., 2006. Association Of Portovenographic Findings With Outcome In Dogs Receiving Surgical Treatment For Single Congenital Portosystemic Shunts: 45 Cases (2000-2004). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2006. Vol. 229, n° 7, pp. 1122-1129.

LEEMAN, J.J., KIM, S.E., REESE, D.J., RISSELADA, M. et ELLISON, G.W., 2013. Multiple Congenital PSS in a Dog : Case Report and Literature Review. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2013. Vol. 49, n° 4, pp. 281-285.

LIPSCOMB, V.J., LEE, K.C., LAMB, C.R. et BROCKMAN, D.J., 2009. Association Of Mesenteric Portovenographic Findings With Outcome In Cats Receiving Surgical Treatment For Single Congenital Portosystemic Shunts. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2009. Vol. 234, n° 2, pp. 221–228.

LORIOT, Nathalie, 2011. *Echographie Abdominale Chez Le Chien Et Le Chat*. Med'com. VADE-MECUM.

MACDONALD, N.J., BURTON, C.A. et WHITE, R.N., 2002. Comparison Of Visual Analog And Numeric Scoring Scales For Assessing Intraoperative Mesenteric Portovenography. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2002. Vol. 43, n° 6, pp. 534–540.

MAI, W. et WEISSE, C., 2011. Contrast-Enhanced Portal Magnetic Resonance Angiography In Dogs With Suspected Congenital Portal Vascular Anomalies : Portal MRA. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2011. Vol. 52, n° 3, pp. 284-288.

MAI, W., 2009. Multiphase Time-Resolved Contrast-Enhanced Portal MRA In Normal Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2009. Vol. 50, n° 1, pp. 52-57.

MOON, S.J., KIM, J.W., KANG, B.T., LIM, C.Y. et PARK, H.M., 2012. Magnetic Resonance Imaging Findings Of Hepatic Encephalopathy In A Dog With A Portosystemic Shunt. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2012. Vol. 74, n° 3, pp. 361–366.

MORANDI, F., COLE, R.C., ECHANDI, R.L. et DANIEL, G.B., 2007. Transsplenic Portal Scintigraphy Using 99MTC-Mebrofenin In Normal Dogs : Transsplenic Portal Scintigraphy with Tc-Mebrofenin. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2007. Vol. 48, n° 3, pp. 286-291.

MORANDI, F., COLE, R.C., TOBIAS, K.M., BERRY, C.R., AVENELL, J. et DANIEL, G.B., 2005. Use Of 99MTCO Trans-Splenic Portal Scintigraphy For Diagnosis Of Portosystemic Shunts In 28 Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2005. Vol. 46, n° 2, pp. 153-161.

MORANDI, F., SURA, P.A., SHARP, D. et DANIEL, G.B., 2010. Characterization Of Multiple Acquired Portosystemic Shunts Using Transplenic Portal Scintigraphy : Transplenic Portal Scintigraphy of Multiple Pss. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2010. Vol. 51, n° 4, pp. 466-471.

NELSON, N.C. et NELSON, L.L., 2011. Anatomy Of Extrahepatic Portosystemic Shunts In Dogs As Determined By Computed Tomography Angiography : Extrahepatic Shunt Anatomy Computed Tomography. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2011. Vol. 52, n° 5, pp. 498-506.

OUI, H., KIM, J., BAE, Y., OH, J., PARK, Seungjo, LEE, G., JEON, S. et CHOI, J., 2013. Computed Tomography Angiography of Situs Inversus, Portosystemic Shunt and Multiple Vena Cava Anomalies in a Dog. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2013. Vol. 75, n° 11, pp. 1525–1528.

OWENS, S.L. et PARNELL, N.K., 2011. What Is the Evidence ? *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2011. Vol. 238, n° 7, pp. 859–861.

PAPAZOGLU, L.G., MONNET, E. et SEIM, H.B., 2002. Survival and Prognostic Indicators for Dogs With Intrahepatic Portosystemic Shunts: 32 Cases (1990–2000). *Veterinary Surgery*. 2002. Vol. 31, n° 6, pp. 561-570.

PARRY, A.T. et WHITE, R.N., 2015. Portal Vein Anatomy In The Dog: Comparison Between Computed Tomographic Angiography (CTA) And Intraoperative Mesenteric Portovenography (IOMP): Comparison between CTA and IOMP. *Journal of Small Animal Practice*. 2015. Vol. 56, n° 11, pp. 657-661.

PHILBEY, A.W., 2013. More Answers Needed On Congenital Portosystemic Shunts In Dogs And Cats. *Veterinary Record*. 2013. Vol. 172, n° 14, pp. 360-361.

POOYA, H.A., SEGUIN, B., TUCKER, R.L., GAVIN, P.R. et TOBIAS, K.M., 2004. Magnetic Resonance Imaging In Small Animal Medicine : Clinical Applications. *Compendium on continuing education*. 2004. pp. 292-302.

SAMII, V.F., KYLES, A.E., LONG, C.D., MELLEMA, L.M., POLLARD, R.E., KASS, P.H. et HORNOF, W.J., 2001. Evaluation Of Interoperator Variance In Shunt Fraction Calculation After Transcolonic Scintigraphy For Diagnosis Of Portosystemic Shunts In Dogs And Cats. *JAVMA*. 2001. Vol. 218, n° 7, pp. 1116-1119.

SANTILLI, R.A. et GERBONI, G., 2003. Diagnostic Imaging Of Congenital Porto-Systemic Shunts In Dogs And Cats : A Review. *The Veterinary Journal*. 2003. Vol. 166, n° 1, pp. 7-18.

SAPONARO, V., LACITIGNOLA, L., STAFFIERI, F. et CROVACE, A., 2012. Intraoperative Contrast Echocardiography To Verify The Surgical Occlusion Of A Single Extrahepatic Portosystemic Shunt In A Dog. *Research in Veterinary Science*. 2012. Vol. 93, n° 1, pp. 463-465.

SCRIVANI, P.V., YEAGER, A.E., DYKES, N.L. et SCARLETT, J.M., 2001. Influence Of Patient Positioning On Sensitivity Of Mesenteric Portography For Detecting An Anomalous Portosystemic Blood Vessel In Dogs: 34 Cases (1997–2000). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2001. Vol. 219, n° 9, pp. 1251–1253.

SEGUIN, B., TOBIAS, K.M., GAVIN, P.R. et TUCKER, R.L., 1999. Use Of Magnetic Resonance Angiography For Diagnosis Of Portosystemic Shunts In Dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 1999. Vol. 40, n° 3, pp. 251–258.

SLEIGHT, D.R. et THOMFORD, N.R., 1970. Gross Anatomy Of The Blood Supply And Biliary Drainage Of The Canine Liver. *Anatomical Record*. 1970. N° 166, pp. 153-160.

STIEGER, S.M., ZWINGENBERGER, A., POLLARD, R.E., KYLES, A.E. et WISNER, E.R., 2007. Hepatic Volume Estimation Using Quantitative Computed Tomography In Dogs With Portosystemic Shunts. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2007. Vol. 48, n° 5, pp. 409-413.

SURA, P.A., TOBIAS, K.M., MORANDI, F., DANIEL, G.B. et ECHANDI, R.L., 2007. Comparison Of ^{99m}TcO₄- Trans-Splenic Portal Scintigraphy With Per-Rectal Portal Scintigraphy For Diagnosis Of Portosystemic Shunts In Dogs. *Veterinary Surgery*. 2007.

Vol. 36, n° 7, pp. 654-660.

SZATMÁRI, V., ROTHUIZEN, J., VAN DEN INGH, T.S.G.A.M., VAN SLUIJS, F. J. et VOORHOUT, G., 2004. Ultrasonographic Findings In Dogs With Hyperammonemia : 90 cases (2000–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2004. Vol. 224, n° 5, pp. 717–727.

SZATMARI, V., ROTHUIZEN, J. et VOORHOUT, G., 2004. Standard Planes For Ultrasonographic Examination Of The Portal System In Dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2004. Vol. 224, n° 5, pp. 713–716.

THIEMAN MANKIN, K.M., 2015. Current Concepts in Congenital Portosystemic Shunts. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2015. Vol. 45, n° 3, pp. 477-487.

THOMPSON, M.S., GRAHAM, J.P. et MARIANI, C.L., 2003. Diagnosis Of A Porto-Azygous Shunt Using Helical Computed Tomography Angiography. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2003. Vol. 44, n° 3, pp. 287–291.

TILLSON, D.M. et WINKLER, J.T., 2002. Diagnosis And Treatment Of Portosystemic Shunts In The Cat. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2002. Vol. 32, n° 4, pp. 881–899.

TIVERS, M. et LIPSCOMB, V.J., 2011. Congenital Portosystemic Shunts In Cats : Investigation, Diagnosis And Stabilisation. *Journal of Feline Medicine & Surgery*. 2011. Vol. 13, n° 3, pp. 173–184.

TOBIAS, K.M. et ROHRBACH, B.W., 2003. Association Of Breed With The Diagnosis Of Congenital Portosystemic Shunts In Dogs : 2,400 Cases (1980–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2003. Vol. 223, n° 11, pp. 1636–1639.

TORISU, S., WASHIZU, M., HASEGAWA, D. et ORIMA, H., 2008. Measurement Of Brain Trace Elements In A Dog With A Portosystemic Shunt : Relation Between Hyperintensity On T1-Weighted Magnetic Resonance Images In Lentiform Nuclei And Brain Trace Elements. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2008. Vol. 70, n° 12, pp. 1391–1393.

VAN DEN BOSSCHE, L. et VAN STEENBEEK, F.G., 2016. Canine Congenital Portosystemic Shunts : Disconnections Dissected. *The Veterinary Journal*. 2016. Vol. 211, pp. 14-20.

VAN STEENBEEK, F.G., VAN DEN BOSSCHE, L., LEEGWATER, P.A.J. et ROTHUIZEN, J., 2012. Inherited Liver Shunts In Dogs Elucidate Pathways Regulating Embryonic Development And Clinical Disorders Of The Portal Vein. *Mammalian Genome*. 2012. Vol. 23, n° 1-2, pp. 76-84.

WACHSBERG, R.H., BAHRAMIPOUR, P., SOFOCLEOUS, C.T. et BARONE, A., 2002. Hepatofugal Flow In The Portal Venous System : Pathophysiology, Imaging Findings, And Diagnostic Pitfalls. *Radiographics*. 2002. Vol. 22, n° 1, pp. 123-140.

WASHIZU, M., KATAGI, M., WASHIZU, T., TORISU, S., KONDO, Y. et NOJIRI, A., 2004. An Evaluation Of Radiographic Hepatic Size In Dogs With Portosystemic Shunt. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 2004. Vol. 66, n° 8, pp. 977-978.

WEISSE, C., BERENT, A.C., TODD, K., SOLOMON, J.A. et COPE, C., 2014. Endovascular Evaluation And Treatment Of Intrahepatic Portosystemic Shunts In Dogs: 100 Cases (2001-2011). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2014. Vol. 244, n° 1, pp. 78-94.

WHITE, R. N., ROBERT, N. et PARRY, A. T., 2016. Morphology of congenital portosystemic shunts involving the left colic vein in dogs and cats. *Journal of Small Animal Practice*. 2016. Vol. 57, n° 5, pp. 247-254.

WHITE, R.N. et BURTON, C.A., 2000. Anatomy Of The Patent Ductus Venosus In The Dog. *The Veterinary Record*. 2000. N° 146, pp. 425-429.

WHITE, R.N. et BURTON, C.A., 2001. Anatomy Of The Patent Ductus Venosus In The Cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2001. Vol. 3, n° 4, pp. 229-233.

WHITE, R.N., MACDONALD, N.J. et BURTON, C.A., 2003. Use Of Intraoperative Mesenteric Portovenography In Congenital Portosystemic Shunt Surgery. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2003. Vol. 44, n° 5, pp. 514–521.

WHITE, R.N. et PARRY, A.T., 2013. Morphology Of Congenital Portosystemic Shunts Emanating From The Left Gastric Vein In Dogs And Cats. *Journal of Small Animal Practice*. 2013. Vol. 54, n° 9, pp. 459-467.

WHITE, R.N. et PARRY, A.T., 2015. Morphology Of Congenital Portosystemic Shunts Involving The Right Gastric Vein In Dogs. *Journal of Small Animal Practice*. 2015. Vol. 56, n° 7, pp. 430-440.

WHITE, R.N. et PARRY, A.T., 2016. Morphology Of Splenocaval Congenital Portosystemic Shunts In Dogs And Cats : Portosystemic Shunts Involving The Splenic Vein. *Journal of Small Animal Practice*. 2016. Vol. 57, n° 1, pp. 28-32.

WINKLER, J.T., BOHLING, M.W., TILLSON, D.M., WRIGHT, J.C. et BALLAGAS, A.J., 2003. Portosystemic Shunts : Diagnosis, Prognosis, And Treatment Of 64 Cases (1993–2001). *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2003. Vol. 39, n° 2, pp. 169–185.

WISNER, E. et ZWINGENBERGER, A., 2015. *Atlas Of Small Animal CT and MRI*. Wiley Blackwell.

ZWINGENBERGER, A.L., SCHWARZ, T. et SAUNDERS, H.M., 2005. Helical-Computed Tomographic Angiography Of Canine Portosystemic Shunts. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2005. Vol. 46, n° 1, pp. 27-32.

ZWINGENBERGER, A.L. et SCHWARZ, T., 2004. Dual-Phase CT Angiography Of The Normal Canine Portal And Hepatic Vasculature. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2004. Vol. 45, n° 2, pp. 117-124.

Synthèse bibliographique portant sur le diagnostic des shunts portosystémiques par l'imagerie chez les carnivores domestiques

Pauline GAUTHIER

Les shunts portosystémiques sont des anomalies vasculaires fréquentes chez les carnivores domestiques. Cliniquement, les animaux présentent principalement des troubles gastro-intestinaux et urinaires peu spécifiques. De même, les examens biochimiques, urinaires et hématologiques mettent en évidence des anomalies peu spécifiques qui peuvent orienter le clinicien vers une anomalie d'origine hépatique. L'imagerie tient donc une place centrale dans le diagnostic des shunts portosystémiques. Les différentes méthodes disponibles peuvent conduire à un diagnostic de certitude mais constituent également un outil précieux dans la planification d'une éventuelle prise en charge chirurgicale. Après un rappel sur l'anatomie et l'embryologie vasculaire du foie, les différentes méthodes d'imagerie sont étudiées. Les grands principes ainsi que la mise en pratique des examens de radiographie, d'angiographie, d'échographie, de scintigraphie, de scanner et d'IRM sont expliqués. Pour chaque méthode, les images normales sont comparées aux images obtenues lors de shunt portosystémique. Enfin, les avantages et les inconvénients de chacune des techniques sont soulignés.

Mots-clés : SYSTEME VASCULAIRE – SHUNT PORTO-SYSTEMIQUE – MALFORMATION CONGENITALE – IMAGERIE – CARNIVORE DOMESTIQUE

Jury :

Président : Pr Isabelle BERRY
Directeur : Dr Fabrice CONCHOU
Assesseur : Pr Giovanni MOGICATO

Portosystemic shunt diagnosis in domestic carnivores using medical imaging : bibliographic review

Pauline GAUTHIER

Portosystemic shunts are common vascular disorders in domestic carnivores. Clinically, animals have digestive and urinary small specific disorders. Moreover, biochemical, urinary and hematological exams highlight little specific anomalies which can lead the veterinarian to an hypothesis of hepatic disease. Then, imaging methods hold a central place in the portosystemic shunts diagnosis. Various methods are available and they can lead to a sure diagnosis. They also are a precious tool to plan a surgical management. After a reminder of hepatic vascularisation anatomy and embriology, various imaging methods are studied. Main principles and practical application of X-ray, angiography, ultrasound, scintigraphy, tomography and magnetic resonance angiography are explained. For each method, normal images and pathological images are compared. Then, major benefits and disadvantages for each techniques are highlight.

Mots-clés : VASCULAR SYSTEM – PORTOSYSTEMIC SHUNT – CONGENITAL DEFECT – IMAGING – DOMESTIC CARNIVORE

Jury :

Président : Pr Isabelle BERRY
Directeur : Dr Fabrice CONCHOU
Assesseur : Pr Giovanni MOGICATO