

## Traitement de la sténose pulmonaire chez le chien via valvuloplastie par ballonnet : quels indications, pronostics et complications ?

**Auteur :** Dehan, Xavier

**Promoteur(s) :** Tutunaru, Alexandru-Cosmin

**Faculté :** Faculté de Médecine Vétérinaire

**Diplôme :** Master en médecine vétérinaire

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/23518>

---

### Avertissement à l'attention des usagers :

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# **Traitement de la sténose pulmonaire chez le chien via valvuloplastie par ballonnet : quel(le)s indications, pronostics et complications ?**

## **Management of Canine Pulmonary Stenosis Using Balloon Valvuloplasty: Indications, Prognostic Factors, and Associated Complications?**

**Xavier DEHAN**

**Travail de fin d'études**

Présenté en vue de l'obtention du grade  
de Médecin Vétérinaire

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2024/2025**

**Le contenu de ce travail n'engage que son auteur**

# **Traitement de la sténose pulmonaire chez le chien via valvuloplastie par ballonnet : quel(le)s indications, pronostics et complications ?**

## **Management of Canine Pulmonary Stenosis Using Balloon Valvuloplasty: Indications, Prognostic Factors, and Associated Complications ?**

**Xavier DEHAN**

Tuteur : Dr. TUTUNARU Alexandru-Cosmin  
DMV, PhD, Dip. ECVAA

**Travail de fin d'études**

Présenté en vue de l'obtention du grade  
de Médecin Vétérinaire

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2024/2025**

**Le contenu de ce travail n'engage que son auteur**

# **Traitement de la sténose pulmonaire chez le chien via valvuloplastie par ballonnet**

## **: quel(le)s indications, pronostics et complications ?**

### **OBJECTIFS DU TRAVAIL**

Le premier objectif de ce travail consiste à poser des bases solides sur la sténose pulmonaire chez le chien. En passant de l'étiologie jusqu'aux traitements, cela permettra de mieux comprendre et assimiler les enjeux du deuxième objectif de ce travail.

Le second objectif est d'établir une synthèse détaillée de la valvuloplastie par ballonnet dans le cadre d'une sténose pulmonaire grâce à une recherche poussée de la littérature à ce sujet. Ce travail a pour but d'éclairer sur la chirurgie et tout ce qui gravite autour : indications et contre-indications, pronostics, complications et points d'attentions à envisager avant de débiter cette intervention spécialisée.

### **RESUME**

Le chapitre 2 permet d'effectuer un rappel minutieux concernant l'étiologie, la pathogénie, signes cliniques... Un point d'attention de ce chapitre concerne les différentes techniques d'imageries pouvant se révéler intéressantes pour la mise en évidence de la sténose pulmonaire. Ce chapitre sera conclu par un point reprenant les différentes options thérapeutiques où l'aspect médicamenteux sera surtout développé laissant le développement des options chirurgicales au chapitre 5.

Les chapitres 3 et 4 vont explorer les points d'attentions nécessaires avant d'entreprendre quelconques actes chirurgicaux. En effet, certaines précautions anatomiques et anesthésiques nécessitent d'être investiguées en préopératoire afin d'éviter toutes complications durant la chirurgie !

Le chapitre 5 s'intéresse de manière approfondie à la valvuloplastie par ballonnet. Ses indications et contre-indications, le déroulé de l'opération, les résultats pouvant être obtenus, le pronostic et les complications possibles. Chacun de ces points sera exploré d'une manière précise afin d'apporter une synthèse récapitulative la plus détaillée possible.

Le chapitre 6 permet d'explorer de manière brève les informations concernant la sténose pulmonaire chez d'autres animaux fréquemment rencontrés par un vétérinaire généraliste.

# **Management of Canine Pulmonary Stenosis Using Balloon Valvuloplasty: Indications, Prognostic Factors, and Associated Complications?**

## **AIM OF THE WORK**

The primary objective of this work is to establish a solid foundation on pulmonic stenosis in dogs. By covering aspects from its etiology to its various treatments, this will facilitate a clearer understanding and assimilation of the challenges associated with the second objective of this study.

The secondary objective is to provide a detailed synthesis of balloon valvuloplasty in the context of pulmonic stenosis, based on extensive literature research on this subject. This work aims to shed light on the surgical procedure and all related considerations : indications and contraindications, prognoses, complications, and crucial points to consider before undertaking this specialized intervention.

## **SUMMARY**

Chapter 2 provides a thorough review of the etiology, pathogenesis, and clinical signs of pulmonic stenosis. A key focus of this chapter will be on the various imaging techniques that can prove valuable for the identification of pulmonic stenosis. This chapter will conclude with a section outlining the different therapeutic options, primarily developing the medical aspect while deferring the discussion of surgical options to chapter 5.

Chapters 3 and 4 will explore the necessary considerations before undertaking any surgical procedures. Indeed, certain anatomical and anesthetic precautions require preoperative investigation to prevent complications during surgery.

Chapter 5 delves in depth into balloon valvuloplasty. It will cover its indications and contraindications, the procedural workflow, potential outcomes, prognosis, and possible complications. Each of these points will be precisely explored to provide the most detailed summary possible.

Chapter 6 briefly explores information regarding pulmonic stenosis in other animal species commonly encountered by a general veterinary practitioner.

## **Remerciements :**

Je souhaite adresser mes remerciements :

- A mon tuteur, le docteur TUTUNARU Alexandru-Cosmin, pour ses conseils, ses corrections, sa disponibilité et sa bienveillance durant toute cette année.
- A mes parents, Laurence Jadot et Yves-Laurent Dehan, qui m'ont soutenu durant toutes ces longues années et permis d'arriver là où j'en suis aujourd'hui. Je ne vous l'ai probablement pas dit assez mais merci infiniment pour toutes les concessions que vous avez pu faire (surtout toi maman) pour que je puisse être dans les meilleures conditions pour réussir.
- A tout le reste de ma famille, qui même si je n'ai pas pu être présent comme je l'aurais voulu pendant ces études l'ont toujours compris. Ils m'ont soutenu et encouragé dans les moments de doutes et durant tous ces interminables blocus. Spéciale dédicace à mes deux grands-mères qui ont suivi mon parcours avec grand intérêt même si elles ne comprenaient pas toujours tout !
- Au groupe 14 de M2 et 13 de M3. Merci d'avoir pu partager avec moi ces deux années. Que ça soit dans la galère, les rires, le rush des examens, des travaux de groupes dont on ne pensait jamais voir le bout...
- A mon petit bonhomme, merci pour ton aide et ta relecture sur ce travail. Merci pour les fiches, les heures passées à me faire réciter, m'écouter me plaindre de pharmaco, m'attendre le temps que je finisse de bosser et j'en passe. Merci d'avoir été présente <3
- Merci à moi accessoirement, tu l'as fait mon gars.
- Ce travail est dédié à mon grand-père René Dehan. Je sais que tu n'es plus là pour pouvoir le lire et voir l'accomplissement de plus de 20 ans d'attente. Je sais aussi à quel point tu étais fier de moi, c'est ce qui m'a toujours donné la force de continuer, même dans les moments difficiles.

## Table des matières :

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>2. LA STENOSE PULMONAIRE : .....</b>	<b>8</b>
2.1 ETIOLOGIE : .....	8
2.1.1 Anatomie de la valve pulmonaire : .....	9
2.1.2 Types de sténoses pulmonaires valvulaires : .....	9
2.2 PATHOGENIE : .....	10
2.3 SIGNES CLINIQUES : .....	12
2.4 DIAGNOSTIC DU VETERINAIRE GENERALISTE : .....	13
2.4.1 Que faire une fois un souffle mis en évidence ? .....	13
2.5 DIAGNOSTIC SPECIALISE : .....	14
2.5.1 échocardiographie : .....	14
2.5.2 Angiographie : .....	14
2.5.3 Autres techniques d'imageries décrites : .....	15
2.6 TRAITEMENT : .....	16
<b>3. ARTÈRES .....</b>	<b>16</b>
3.1 INVESTIGUER L'IMPLANTATION DES ARTERES CORONAIRES : .....	16
3.2 ANATOMIE DES ARTERES CORONAIRES : .....	17
3.3 ANOMALIES D'IMPLANTATION ET DE TRAJETS DES ARTÈRES CORONAIRES : .....	18
<b>4. ANESTHÉSIE : .....</b>	<b>19</b>
4.1 INTRODUCTION : .....	19
4.2 RISQUE D'ANESTHÉSIEUR UN ANIMAL : .....	19
4.3 LES MOLECULES ANESTHESIANTES : .....	20
4.3.1 Quelles molécules à utiliser ? .....	20
4.3.2 Quelles molécules à éviter ? .....	20
<b>5. VALVULOPLASTIE PAR BALLONNET : .....</b>	<b>21</b>
5.1 INTRODUCTION : .....	21
5.2 INDICATIONS : .....	22
5.2.1 Valvuloplastie par Ballonnet : .....	22
5.2.2 Indications pour d'autres techniques chirurgicales : .....	23
5.3 DEROULE DE L'OPERATION : .....	24
5.4 SOINS POST-OPERATOIRES : .....	26
5.5 COMPLICATIONS : .....	26
5.5.1 Complications anatomiques : .....	26
5.5.2 Complications techniques : .....	27
5.6 PRONOSTIC : .....	30
5.6.1 Facteurs pronostics négatifs : .....	31
<b>6. ET CHEZ LES AUTRES ANIMAUX ? .....</b>	<b>32</b>
6.1 LE CHAT : .....	32
6.2 LES BOVINS : .....	32
6.3 LES PETITS RUMINANTS .....	33
6.4 LE CHEVAL : .....	33
<b>7. CONCLUSION : .....</b>	<b>35</b>
<b>8. DÉCLARATION D'UTILISATION DE L'IA GÉNÉRATIVE ET DES TECHNOLOGIES ASSISTÉES PAR L'IA DANS LE PROCESSUS DE RÉDACTION : .....</b>	<b>36</b>
<b>9. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>37</b>

# **1. Introduction :**

Dans la pratique vétérinaire, lors d'une consultation, il n'est pas rare de se retrouver confronter à un souffle durant notre auscultation cardiaque. Si certains peuvent être physiologique (en situation de stress, chez le chiot, voire de manière idiopathique chez le chat) d'autres sont les témoins d'une atteinte cardiaque (Hill, 2012). Ces pathologies peuvent être congénitales et présentes dès le plus jeune âge ou acquises et se développer durant la vie de l'animal à un âge plus ou moins avancé. Ce travail va se pencher sur l'une des atteintes congénitales les plus fréquentes chez le chien (Schrope, 2015) : la sténose pulmonaire. L'essentiel de ce travail se penche sur la forme la plus fréquemment rencontrée : la forme valvulaire. Ainsi que l'intervention chirurgicale de choix, la valvuloplastie par Ballonnet, pour traiter cette pathologie. Si elle n'est pas traitée, l'animal peut présenter des signes d'une atteinte cardiaque droite pouvant entraîner la mort.

Cette chirurgie peu invasive qui vise à élargir la sténose pulmonaire est indiquée dans de nombreux cas de figure. Elle n'est pas pour autant exempte de contre-indications ou de complications pouvant être mineures ou majeures qui dans les pires des cas peuvent entraîner la mort de l'animal. Certains facteurs anatomiques ou physiopathologiques peuvent également limiter l'efficacité de la chirurgie. Le pronostic de cette opération dépend donc de plusieurs facteurs à commencer par le type de sténose, sa gravité, sa localisation, anomalies anatomiques, présence de signes cliniques ...

Tous ces facteurs vont être passés en revue dans le but d'avoir une vue d'ensemble de ce que peut impliquer une valvuloplastie par ballonnet.



## **2. La sténose pulmonaire :**

### **2.1 Etiologie :**

La sténose pulmonaire (SP) est l'une des pathologies congénitales cardiaques les plus fréquemment rencontrées chez le chien au même titre que la sténose aortique et la persistance du canal artériel. Certaines études (Schrope, 2015), ont même démontré qu'il s'agissait du défaut de conformation le plus couramment rencontré, correspondant à 31% des pathologies congénitales cardiaques. Ces dernières sont des malformations qui sont la conséquence d'un développement cardio-vasculaire anormal et/ou d'un arrêt prématuré durant la phase fœtale. La sténose pulmonaire peut aussi être secondaire à une anomalie de conformation des artères coronaires (cf. chapitre 3) pouvant de ce fait aussi entraîner un obstacle à l'éjection correcte du sang provenant du ventricule droit (Buchanan, 2001).

Cette pathologie atteint plus souvent des chiens de races de petites tailles comme les Beagles, Bouledogues anglais et français, Chihuahua, Cocker, West Highlander White Terrier, mais aussi les Boxers, etc. Le Bouledogue anglais étant la race la plus atteinte, chez qui la fréquence est dix-neuf fois plus élevée que chez les autres races (Buchanan, 2001).

Il existe 3 formes de sténoses pulmonaires : les sténoses pulmonaires sous-valvulaires dont l'obstacle à l'éjection se trouve entre la crête ventriculaire et la valve pulmonaire, les sténoses pulmonaires supra-valvulaires dont l'obstacle d'éjection se trouve au sein du tronc pulmonaire (PT) et la sténose pulmonaire valvulaire sur laquelle repose l'essentiel de ce travail. Cette sténose résulte d'une malformation de la valve pulmonaire dont les valvules la constituant sont défectueuses. Ceci va mener à un défaut d'ouverture au moment de la systole et donc à une difficulté pour le ventricule droit à réussir à éjecter le sang vers les poumons. Il existe chez certaines races, notamment le Bouledogue français, des formes complexes de SP où il y a plusieurs localisations associées (Chetboul and Taton, 2018).

### **2.1.1 Anatomie de la valve pulmonaire :**

Cette valve se situe à la sortie du ventricule droit et au début du tronc pulmonaire. Elle s'ouvre durant la systole ventriculaire pour permettre l'éjection du sang de la chambre ventriculaire et se ferme durant la diastole. La valve pulmonaire est attachée à l'ostium du tronc pulmonaire. Elle est constituée par 3 valvules de formes semi-lunaires qui sont fixées à l'ostium (figure1). Contrairement aux valves atrio-ventriculaires, ces valvules ne sont pas reliées aux muscles papillaires par des cordages tendineux. Lors de la diastole, les trois valvules se coaptent parfaitement entre elles afin d'empêcher tout reflux sanguin possible venant du tronc pulmonaire (Barone, 2021).

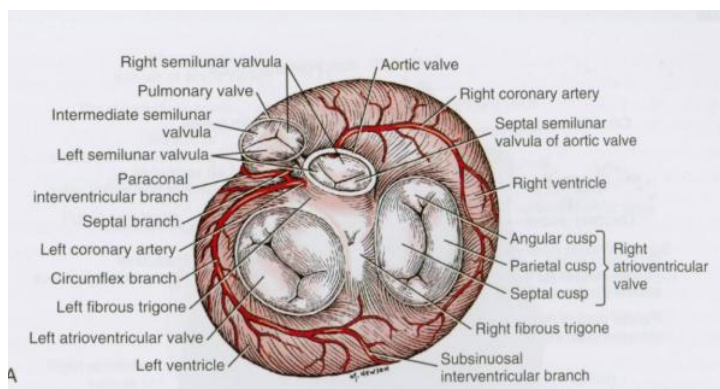


Figure 1: Base d'un cœur de chien mis à nu après dissection de l'ensemble atrial et des gros vaisseaux (Hermanson and Lahunta, 2018 P.501).

### **2.1.2 Types de sténoses pulmonaires valvulaires :**

La sténose pulmonaire valvulaire est la forme la plus fréquente chez le chien (Ramos et al., 2014). Elle peut être classée en trois types :

- Sténose pulmonaire de type A :

Le diamètre de l'artère reste normal, ce sont les feuillets composants la valve pulmonaire qui sont fusionnés. Lors de la systole, ils ne vont pas s'ouvrir d'une manière correcte. Les feuillets auront tendance à former un bombement systolique et ainsi causer un obstacle à l'éjection ventriculaire droite. La sténose de type A est la plus fréquemment rencontrée (Chetboul and Taton, 2018).

- Sténose pulmonaire de type B :

Hypoplasie de l'anneau pulmonaire et une valve dysplasique avec des feuillets épaissis non fusionnés et très peu mobiles. Cet ensemble laisse passer plus difficilement le sang durant la systole.

On parle d'hypoplasie de l'anneau pulmonaire lorsque le rapport du diamètre de l'anneau aortique sur celui-ci est supérieur à 1.2 (Scansen, 2015).

- Sténose pulmonaire mixte :

Ce type associe les deux précédents étant évidemment la forme de SP valvulaire la plus rare.

## **2.2 Pathogénie :**

L'obstacle présent empêche une bonne éjection du sang dans le tronc pulmonaire. Le volume sanguin éjecté vers les poumons s'en trouve alors diminué. Il y a une corrélation entre l'intensité du souffle et la sévérité de la sténose : plus le passage au niveau de la valve pulmonaire est étroit et plus la vitesse du sang augmente. Ceci génère un souffle audible (cf. point 1.4.1). La sévérité de la sténose est évaluée en fonction de la pression que le ventricule doit produire pour réussir à se contracter et envoyer du sang au-delà de la valve malformée (Bussadori et al., 2000). En condition physiologique, le ventricule droit éjecte le sang dans la circulation pulmonaire à une pression d'environ 25mmHg. On parle de sténose légère lorsque ce gradient de pression est inférieur à 50mmHg, de modérée lorsqu'il est compris entre 50 et 80mmHg et de sténose sévère lorsqu'il est supérieur à 80mmHg (Francis et al., 2011). A ce stade, la qualité et la durée de vie du chien peuvent être significativement altérées. La mesure de ce gradient est donc essentielle pour le diagnostic, orienter le choix thérapeutique ainsi que le pronostic de l'animal.

Pour pallier l'augmentation de la post charge (forces qui s'opposent à la vidange des ventricules), le ventricule droit va pomper plus fortement et devra augmenter la pression d'éjection systolique. Il se dilatera et se remodelera de manière concentrique. Son myocarde va s'hypertrophier et son volume d'éjection sera donc réduit. Plus un ventricule devient épais et moins il se relâchera correctement durant la diastole. Le myocarde possède une capacité de remodelage hypertrophique que le réseau coronaire, chargé de sa vascularisation, ne peut pas

suivre. Or, les cardiomyocytes hypertrophiés présentent des besoins métaboliques accrus mais souffrent d'une perfusion insuffisante. Cette situation in fine conduit à la nécrose de ces cardiomyocytes ce qui peut causer de la fibrose et/ou l'apparition d'arythmies ventriculaires (Warnes, 2009).

Lors de cas plus sévères, le remodelage du ventricule droit devient tel que le volume sanguin éjecté arrivant au niveau du cœur gauche est insuffisant. À la suite de cette diminution de la précharge, le ventricule gauche ne se remplira plus complètement et aura un volume d'éjection systolique trop faible pour assurer une bonne pression et circulation artérielle systématique. Le chien aura alors des signes cliniques de décompensation cardiaque de bas débit.

L'anneau de la valve tricuspide va être dilaté à la suite du remodelage concentrique. À l'inverse du ventricule, les cordages tendineux qui retiennent les trois feuillets de la valve tricuspide ne s'hypertrophient pas. Durant la systole ventriculaire, les feuillets ne se coaptent plus de manière optimale ce qui entraîne une régurgitation tricuspidiennne qui est un facteur pronostic limitant (voir chapitre 5) (Francis et al., 2011).

L'oreillette éprouvera plus de difficultés à réussir à se vidanger dans ce ventricule hypertrophié concentriquement. Le volume sanguin présent dans l'oreillette est donc supérieur à la normale et par conséquent, la pression en son sein va de ce fait aussi augmenter petit à petit. Pour répondre à ces surcharges, l'oreillette se dilatera. La pression normale dans les oreillettes se situe entre 3 et 5mmHg. Lorsque la pression atteint 15-20mmHg, les signes cliniques de décompensation cardiaque congestive droite (DCC D), dans ce cas-ci, apparaissent (Ettinger et al., 2024). Entre 5 et 15mmHg, le cœur arrive à compenser et l'animal ne présente pas de signes cliniques.

La pression hydrostatique va également augmenter dans la veine cave crâniale et caudale qui s'abouchent toutes deux dans l'oreillette droite. Selon la loi de Starling, cette augmentation pousse le liquide à l'extérieur des veines systémiques. Le système lymphatique, chargé de réabsorber ce liquide interstitiel, sera dépassé entraînant une accumulation liquidienne dans les tissus (œdème, épanchements) (Ettinger et al., 2024).

Ce schéma ci-dessous (figure 2) résume la chronologie des modifications structurelles citées ci-dessus ainsi que les liens pouvant être fait afin de mieux visualiser dans son ensemble la complexité de la pathogénie de la sténose pulmonaire.

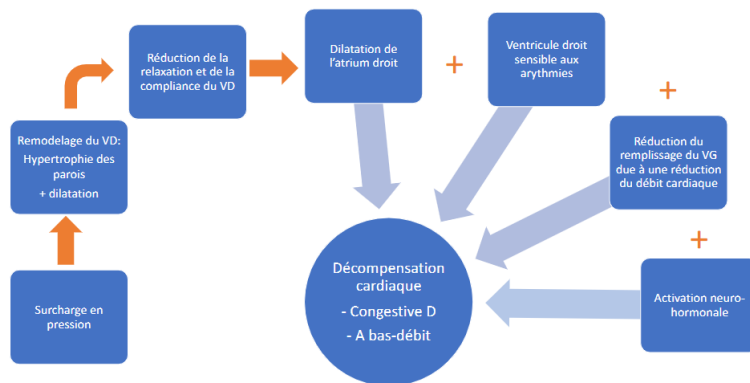


Figure 2: récapitulatif de la pathogénie de la SP. Schéma provenant du cours de cardiologie du professeur AC.Merveille.

Une dilatation post-sténosique du tronc pulmonaire accompagnée d'un amincissement de sa paroi, peut survenir en raison de la chute de la pression sanguine ainsi que des flux turbulents et accélérés qui viennent ricocher contre les parois du vaisseau. Ces modifications hémodynamiques peuvent engendrer des lésions pariétales aussi désignées comme des lésions en jet (Ettinger et al., 2024).

En parallèle d'avoir une SP, il est possible que le chien ait d'autres anomalies cardiaques congénitales associées (communication inter ventriculaire, communication inter auriculaire, sténose aortique, ...). Ainsi que dans au minimum 25% des cas (Locatelli et al., 2013), la sténose pulmonaire est associée à d'autres pathologies cardiaques congénitales. La plus fréquente étant une association avec une sténose sous aortique

## **2.3 Signes cliniques :**

Les atteintes peuvent être asymptomatiques ou symptomatiques en fonction de la sévérité de la sténose. Les animaux asymptomatiques ont en moyenne seize fois moins de risque de mortalité suite à cette atteinte cardiaque que les symptomatiques (Johnson et al., 2004).

A l'auscultation, même si l'animal est asymptomatique, il y a un souffle systolique basal gauche fort et rugueux.

Dans les cas sévères, ce qui représente +/- 35% des SP recensées (Ettinger et al., 2024), le chien peut présenter des signes de décompensation congestive droite : de l'ascite avec du liquide étant

du transsudat modifié, arythmies, épanchement pleural comme les veines provenant de la plèvre rejoignent la veine cave crâniale. Il en est de même pour les jugulaires qui peuvent être alors distendues.

Dans de plus rares et graves cas, le chien peut présenter des signes de bas débit : faiblesse, intolérance à l'effort, syncope, hypothermie, muqueuses pâles avec un temps de remplissage supérieur à deux secondes, retard de croissance.

## **2.4 Diagnostic du vétérinaire généraliste :**

Le vétérinaire généraliste a pour objectif de rechercher la présence d'un souffle à l'auscultation durant son examen général. Son rôle dans le dépistage des maladies cardiaques congénitales est crucial et commence dès la première consultation chez le chiot. Certaines maladies, dont la sténose pulmonaire, peuvent nécessiter la mise en place de traitements médicamenteux et/ou chirurgicaux. Au plus tôt le diagnostic est posé, au plus tôt un traitement peut être mis en place. Meilleur sera le pronostic ainsi que la qualité de vie de l'animal ! Il est donc impératif pour le généraliste de toujours réaliser une auscultation cardiaque des chiots de manière minutieuse à chaque consultation. Il en est de la responsabilité du vétérinaire de se mettre dans les meilleures conditions pour ausculter le cœur. A savoir : être dans un environnement calme et non bruyant, mettre le chien debout sur ses quatre pattes, penser à fermer la bouche du chien s'il halète et écouter minutieusement les 3 zones d'auscultation cardiaque (Hill, 2012).

### **2.4.1 Que faire une fois un souffle mis en évidence ?**

Idéalement, chez un adulte, dès qu'on met en évidence un souffle cardiaque, il faut l'investiguer.

Chez un chiot, la situation est un peu plus complexe. Si à l'auscultation, le vétérinaire entend un souffle qui ne correspond pas à ce que pourrait être un souffle physiologique, il est alors impératif de réaliser des examens complémentaires. Tout de fois, s'il en a les capacités ; sinon, référer vers un spécialiste.

Cependant, la situation est différente lors de la mise en évidence d'un souffle dont les caractéristiques peuvent faire penser à un souffle physiologique. Le chiot peut avoir un souffle innocent jusqu'à l'âge de 16 semaines ou bien une légère atteinte cardiaque. Ici, il est donc

conseillé d'attendre au moins 16 semaines (Hill, 2012) pour écarter la piste d'un souffle innocent et ainsi effectuer des examens cliniques afin d'établir un diagnostic précis.

Pour rappel, près d'un chiot sur trois présente un souffle innocent. Cela étant lié à la composition de leur sang qui, contenant moins de globules rouges, le rend moins visqueux et qui entraîne donc plus de turbulences. (Hill, 2012)

## **2.5 Diagnostic spécialisé :**

### **2.5.1 Echocardiographie :**

L'échocardiographie permet d'amener un diagnostic de certitude ainsi que de déterminer à quel type de sténose pulmonaire valvulaire nous sommes confrontés et mesurer la taille de l'anneau de la valve pulmonaire. (Scansen, 2015)

Lors de l'examen d'un chien avec une sténose pulmonaire, plusieurs paramètres seront visibles durant l'examen échographique : hypertrophie concentrique du ventricule droit, une oreillette et un ventricule dilatés. De manière générale, la taille du ventricule droit apparaîtra alors supérieure à celle du gauche pouvant aller même jusqu'à écraser celui-ci. Il est possible d'observer d'autres signes relativement caractéristiques : épaississement des valvules, mesurer (à l'aide d'un Doppler continu) le gradient pulmonaire trans-sténosique (gradient de pression), la vitesse du sang lors de l'éjection systolique, dilatation du tronc pulmonaire postérieure à la sténose, ...

L'échocardiographie peut aussi permettre d'investiguer la présence ou non d'autres anomalies cardiaques congénitales concomitantes (Chetboul and Taton, 2018).

### **2.5.2 Angiographie :**

Une angiographie est prescrite pour évaluer avec précision la localisation de la sténose ainsi que la taille de l'anneau pulmonaire afin de choisir en conséquence le diamètre du ballonnet qui sera utilisé durant la chirurgie. Comme décrit de manière plus détaillée dans le chapitre 3, l'angiographie est aussi utilisée pour visualiser les vaisseaux sanguins et investiguer la présence d'anomalies de conformations des artères coronaires (Scansen, 2017). Cet examen peut être réalisé en préopératoire voir en peropératoire au besoin (Johnson and Martin, 2004).

La technique d'angiographie fluoroscopique via cathétérisation artérielle (au niveau des artères carotides ou fémorales) est depuis longtemps utilisée (Bussadori, 2023). Un cathéter est inséré

dans une artère, parcourra la circulation artérielle en étant guidé en temps réel par fluoroscopie jusqu'aux sites recherchés (localisations de la sténose, artères coronaires...). Un produit de contraste est alors injecté via le cathéter et permet une visualisation en deux dimensions en temps réel (Scansen, 2017).

L'angiographie par tomodensitométrie (CT scan) permet d'avoir des images de meilleures qualités en trois dimensions à haute résolutions, tout en étant moins invasive puisque le produit de contraste est injecté d'une veine périphérique. Cette procédure prend moins de temps et entraîne moins de risques de complications (cf. chapitre 5). Synchronisé le CT scan avec un électrocardiogramme minimise les artéfacts de mouvements liés en prenant des images durant la diastole, phase du cycle où le cœur est le plus immobile. Il y a une nette préférence pour cette récente technique à l'heure actuelle. (Hallman et al., 2024).

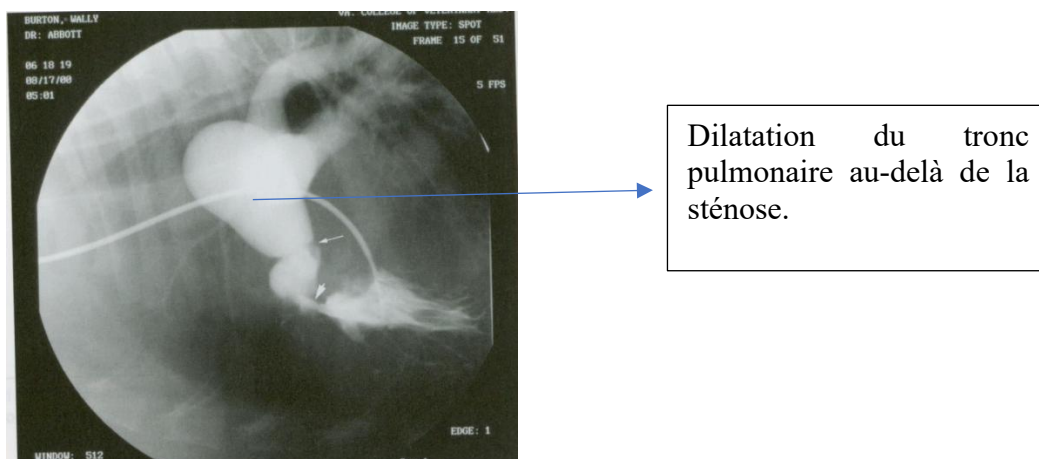


Figure 3: angiographie du ventricule droit d'un Border Collie. La fine flèche montre la valve pulmonaire et la flèche épaisse représente une sténose sous valvulaire.(Bojrab et al., 2014)

### **2.5.3 Autres techniques d'imageries décrites :**

Une radiographie dorso-ventrale (de préférence) du thorax, bien que moins spécifique, permet de mettre en évidence un cœur droit hypertrophié, dilatation de la veine cave caudale, des signes de DCC D, ...

L'échocardiographie transoesophagienne est aussi décrite pour apporter des informations pertinentes pour l'établissement d'un diagnostic avec d'autres angles de vue ou comme examen de suivi (Ettinger et al., 2024).



## **2.6 Traitement :**

Le traitement à mettre en place dépend de la sévérité de la sténose !

En cas d'atteinte légère ou modérée asymptomatique, un traitement médical peut être mis en place dans l'optique de supporter la fonction cardiaque. Pour cela, on peut les traiter avec des beta bloquant B1 (Aténolol par exemple) qui ont comme action de diminuer la fréquence cardiaque et la force de contraction. La durée de diastole est alors augmentée ce qui permet une meilleure oxygénation du myocarde et limite le risque d'arythmies.

En cas d'atteinte SP sévère ou modérée symptomatique, le traitement de choix sera une prise en charge chirurgicale (Hallman et al., 2024). Sans cette intervention, le pronostic pour l'animal est très mauvais. Le développement de cette chirurgie est détaillé de manière approfondie au chapitre 5. Ces animaux peuvent être mis sous Aténolol durant deux ou quatre semaines avant l'opération deux fois par jour avec une posologie allant de 0.5-1.5mg/kg (Scansen, 2015).

## **3. Artères coronaires :**

### **3.1 Investiguer l'implantation des artères coronaires :**

Selon (Chetboul and Taton, 2018), il y a une corrélation entre la sténose pulmonaire et des anomalies du système coronaire dans 14% des cas et plus fréquemment chez le Boxer et le Bouledogue anglais. Il est important de mentionner que la SP et les anomalies des artères coronaires (AAC) ne se développent pas de manière concomitante. Il est possible d'avoir des AAC sans avoir une SP et vice versa (Scansen, 2017). Dans certains cas de figures, ces ACC peuvent être la cause initiale de la SP (Buchanan, 2001) suite à leurs trajets qui risquent d'obstruer et/ou de comprimer la valve pulmonaire ou une partie de la voie d'éjection empruntée par la circulation du cœur droit (figure 3). Il en est de même avec les sténoses aortiques.

Ces anomalies coronaires peuvent être à l'origine de complications durant l'intervention chirurgicale pouvant, dans les situations les plus sévères, entreprendre le pronostic vital de l'animal si une artère au trajet anormal est rompue. Leur présence va de même influencer la

taille du ballonnet utilisé pour effectuer la valvuloplastie et donc l'efficacité de celle-ci. (Fonfara et al., 2010)

Avant d'opérer l'animal, il donc est impératif de vérifier en préopératoire la conformation des artères coronaires à l'aide d'une angiographie par tomodensitométrie (Andreis et al., 2021), aussi appelé Angioscanner (cf. point 2.5). Cette étape importante permet de déterminer, notamment chez les races brachycéphales, la candidature pour la valvuloplastie par ballonnet ou à l'inverse la contre-indication.

### **3.2 Anatomie des artères coronaires :**

Ces artères ont pour fonction d'irriguer le muscle cardiaque. Celui-ci étant très richement vascularisé, le réseau coronaire l'irrigue en utilisant 10-15% (Budras, 2007) du volume total d'éjection systolique du ventricule gauche.

Les artères coronaires sont les premières collatérales que l'aorte délègue. Elles prennent origines juste au-dessus des valvules composant la valve aortique. Chez le chien, l'artère coronaire gauche est, en moyenne, deux fois plus développée que la droite (Barone, 2021). Elle a pour origine l'ostium coronaire gauche. Elle passe entre l'auricule gauche et le tronc pulmonaire, tout en détachant une branche paraconale dans le sillon interventriculaire gauche. Elle continue dans le sillon coronaire en passant par le bord caudal du cœur via la branche circonflexe pour aller rejoindre le début du sillon interventriculaire droit dans lequel l'artère délèguera la branche subsinusale (Scansen, 2017) (figure 4 et 5).

Chez le chien, ainsi que chez les ruminants, cette branche a pour origine l'artère coronaire gauche. Contrairement aux les chevaux et porcs, chez qui elle provient de l'artère coronaire droite (Barone, 2021).

L'artère coronaire droite provient de l'ostium coronaire droit. Elle passe entre l'auricule droit et le tronc pulmonaire afin de rejoindre le sillon coronaire. Cette artère passe par le bord crânial du cœur et s'arrête un peu avant le sillon interventriculaire droit (Scansen, 2017) (figure4).

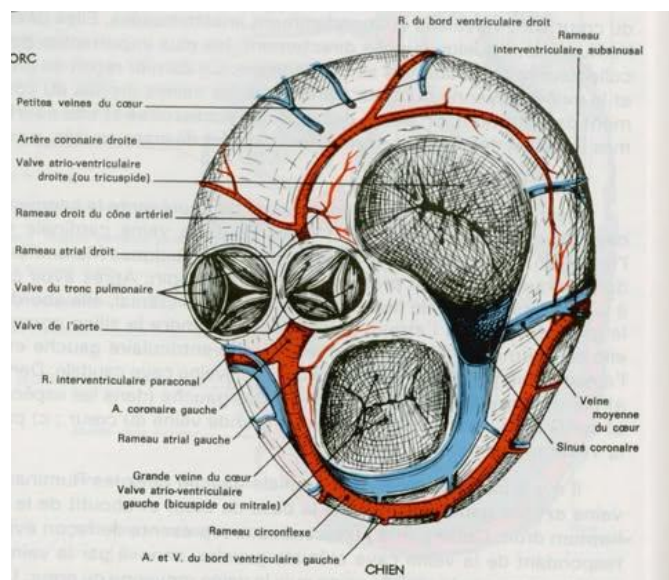


Figure 5: vue dorsale des artères et veines d'un cœur de chien (Barone, 2021, P.62).

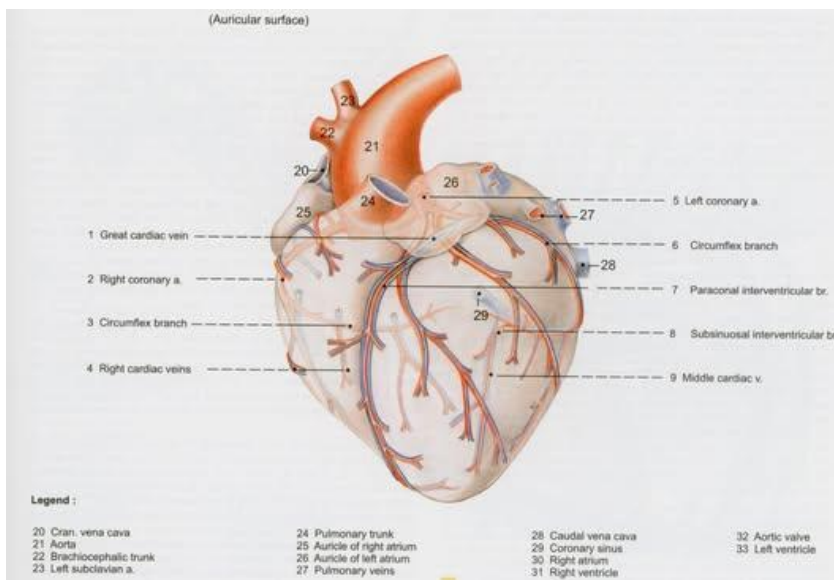


Figure 4 : vue de face des coronaires et veines du cœur (Budras, 2007, P.45).

### **3.3 Anomalies d'implantations et de trajets des artères coronaires :**

Il existe un nombre élevé d'AAC différentes pouvant avoir un impact mineur ou majeur sur la fonction cardiaque ainsi que le pronostic à long terme du chien. Ces anomalies peuvent être asymptomatiques ou, dans une minorité des cas, entraîner une ischémie du myocarde plus ou moins importante en fonction de l'importance de l'anomalie de l'implantation (Scansen, 2017). Dans le cadre d'une valvuloplastie, les ACC avec un trajet pré-pulmonaire, aussi appelées circumpulmonaires, et inter artériel (figure 6) sont les plus importantes à investiguer. Avec ces anomalies, il est aisé de visualiser les risques de lacérations voire de ruptures coronaires lors du gonflement du ballonnet.

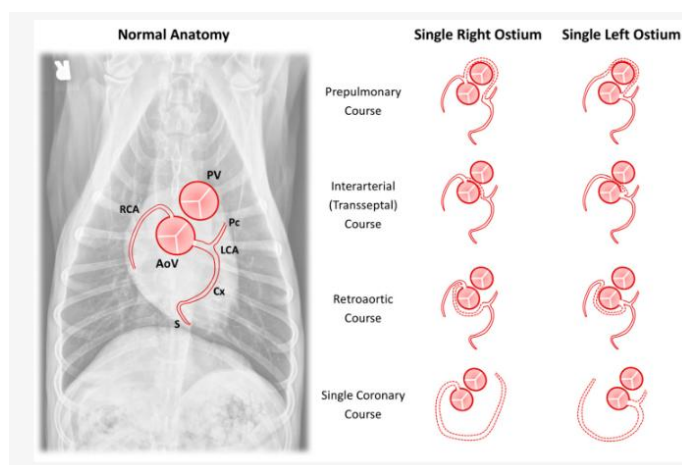


Figure 6: thorax de chien, vue radiographique ventro-dorsale de l'implantation et du trajet coronaire physiologique et comparaison avec diverses AAC (Scansen, 2017.) Légende : PV : valve pulmonaire, AoV : valve aortique, RCA : artère coronaire droite, LCA : artère coronaire gauche, Cx : branche circonflexe de l'artère coronaire gauche, S : branche interventriculaire subsinusale P : branche interventriculaire paraconale gauche.

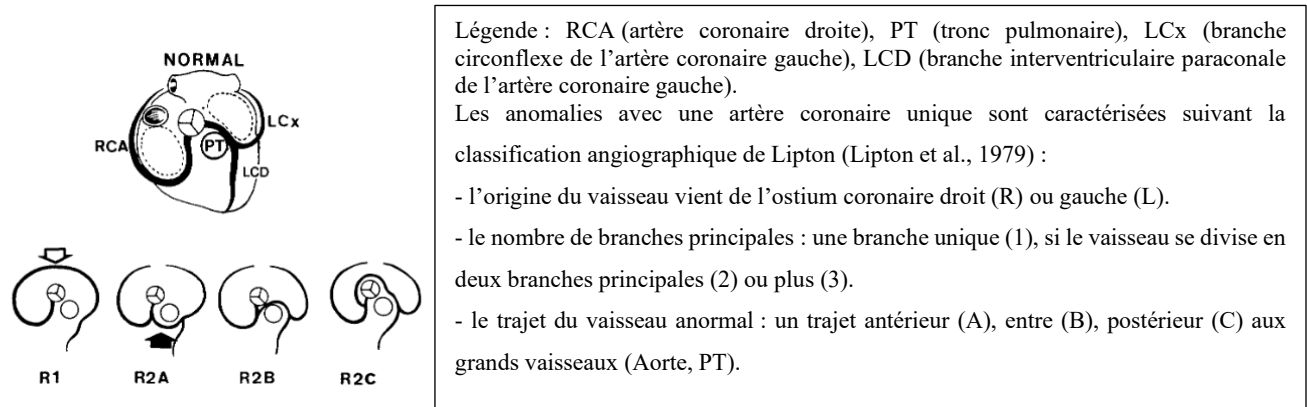


Figure 7 : schéma de la distribution physiologique des artères coronaires et des anomalies comprenant une artère coronaire droite unique chez le chien (Buchanan, 2001).

L'anomalie de type R2A, (à savoir une artère coronaire droite unique qui délègue l'artère coronaire gauche qui passe alors avec un trajet pré pulmonaire, (figure 7), est la plus fréquente et limitante chez les Boxers et Bouledogues anglais (Andreis et al., 2021). La majorité des SP chez les Bouledogues anglais sont en association avec une anomalie de type R2A (Buchanan, 2001) ce qui pourrait suggérer chez eux une prédisposition génétique à cette association (Chetboul and Taton, 2018). Selon une étude (Buchanan, 1990), l'anomalie de type R2A serait la cause directe de la sténose pulmonaire en entravant de manière plus ou moins importante l'éjection du sang provenant du ventricule droit.

## **4. Anesthésie :**

### **4.1 Introduction :**

Des protocoles anesthésiques seront nécessaires autant pour réaliser certains examens complémentaires (angiographie...) que pour l'intervention chirurgicale en elle-même. Que ce soit pour les molécules utilisées, pour la prémédication ou pour l'induction. Évidemment, il faut bien sélectionner celles qui ont le moins d'effets dépressifs sur le système cardiovasculaire.

### **4.2 Risques d'anesthésier un animal :**

Les animaux, venant pour une intervention chirurgicale ou pour une investigation, sont majoritairement atteints de SP sévère ou au minima modérée. Afin d'évaluer les risques anesthésiques et la gravité de la sténose pulmonaire, il est impératif de se référer à la classification ASA (Hurwitz et al., 2017).

On peut alors attribuer un statut de ASA III (maladie systémique modérée mais toujours compensée) ou ASA IV (maladie systémique sévère, non compensée) aux différents animaux présentés. Lors de l'étude réalisée par (Viscasillas et al., 2015), uniquement trois chiens ayant

le statut ASA IV sont décédés. Sur cette étude le statut ASA a été le seul paramètre avec une différence significative ( $P=0.003$ ) associé à un risque plus élevé de mortalité. S'en est conclu que les chiens, dont la condition physique était moins bonne, avaient plus de chances de décéder.

Les données de deux études ((Ramos et al., 2014; Viscasillas et al., 2015) montrent que les complications peropératoires majeures durant l'anesthésie étaient la bradycardie (20.5%), l'hypotension (48.7%) ainsi que des arythmies ventriculaires (54-87%). Les risques anesthésiques étaient plus élevés durant la dilatation du ballonnet et la perturbation du flux sanguin qui en résulte. (Ramos et al., 2014).

## **4.3 Les molécules anesthésiantes :**

### **4.3.1 Quelles molécules à utiliser ?**

Il faut favoriser les opioïdes et autres molécules qui présentent une dépression cardiovasculaire minime (Lamont et al., 2024).

Différentes molécules ont été utilisées dans les quelques études consultées pour ce chapitre. Par exemple : pour la prémédication, des opioïdes sont utilisés comme l'hydromorphone et la péthidine. Ces derniers ont été utilisés pour leurs effets sédatifs, analgésiques et vagolytiques qui permettent de diminuer le potentiel de bradycardie (Viscasillas et al., 2015),...

Pour l'induction, la molécule qui est le plus souvent revenue est l'étomidate. Celle-ci est souvent associée à des benzodiazépines qui agissent sur les récepteurs GABA. Grâce à leurs faibles effets dépresseurs respiratoires et cardiovasculaires (Viscasillas et al., 2015), ils sont intéressants. Des associations entre de la kétamine-diazépam ou encore du propofol-diazépam sont aussi réalisées pour l'induction (Ramos et al., 2014).

L'anesthésie était maintenue avec de l'isoflurane, de la fentanyl et de la lidocaïne.

### **4.3.2 Quelles molécules à éviter ?**

Il est primordial d'éviter les  $\alpha_2$  agonistes qui ont de forts effets cardiovasculaires puisqu'ils entraînent une hypertension et de la bradycardie. Ils sont d'autant plus contre-indiqués comme les animaux sont souvent déjà, depuis quelques semaines, sous traitement à base de Beta bloquant qui sont eux-mêmes bradycardisant (Scansen, 2015) !

De plus, il est conseillé d'éviter l'acépromazine (ACP) en prémédication (Johnston and Tobias, 2018). En bloquant les récepteurs  $\alpha_1$  adrénergiques vasculaires, l'ACP entraîne une vasodilatation périphérique, ce qui peut diminuer le débit cardiaque et la pression artérielle systémique (jusqu'à 20-30%) (Lamont et al., 2024). Pour rappel, durant l'opération, une des complications anesthésiques les plus rencontrées est l'hypotension. L'utilisation d'ACP risque de l'empirer et peut mener à une hypoperfusion des organes vitaux. En effet, à la suite de la vasodilatation, la précharge arrivant aux ventricules sera moindre et entraînera une diminution du débit cardiaque global (Lamont et al., 2024).

Une potentielle utilité serait pour ses effets anti arythmiques mais est dépassée par le risque d'entraîner une hypotension sévère. L'absence d'antidote contre l'ACP rend encore plus difficile la gestion des complications qu'elle peut entraîner.

## **5. Valvuloplastie par ballonnet :**

### **5.1 Introduction :**

Comme mentionné au point 2.6, une intervention chirurgicale est souvent nécessaire lors d'une sténose sévère ou de sténoses modérées, associées à des signes cliniques. Cette intervention est du ressort de chirurgiens spécialisés. Le but de cette chirurgie est d'aller ouvrir cette valve à l'aide d'un ballonnet. Cela permet de diminuer la résistance à l'encontre de l'éjection du ventricule droit et d'améliorer le débit cardiaque. En diminuant la résistance d'éjection systolique, on limite le remodelage cardiaque droit et ainsi, on réduit les signes cliniques qui en découlent.

## **5.2 Indications :**

### **5.2.1 Valvuloplastie par Ballonnet :**

La valvuloplastie par ballonnet semble être indiquée lorsque le gradient de pression atteint les 60mmHg (Francis et al., 2011), chez des animaux de plus de deux kg qui ont alors une vascularisation assez grande pour ne pas compliquer le passage des fils et cathéters (Scansen, 2015).

Elle est à envisager le plus tôt possible, avant le développement de remodelages cardiaques trop importants et signes DCC D qui vont diminuer le pronostic vital postopératoire.

Méthode de choix pour les SP valvulaires sans anomalies coronaires bien que les chances de réussites dépendent du type de la sténose pulmonaire. Une étude menée par (Bussadori et al., 2001) permet d'apporter un peu plus de précision. En effet, les animaux ayant une sténose valvaire de type A ont d'excellents pronostics opératoires ! La valvuloplastie par ballonnet semble être efficace dans 100% des cas et permet de réduire de 60% en moyenne le gradient de pression. Il est donc évident que pour ce type de SP, la valvuloplastie par ballonnet est le traitement de choix (Johnston and Tobias, 2018).

Les résultats sont moins convaincants chez les animaux ayant une sténose de type B. L'efficacité de la chirurgie n'atteignait dans ce cas-ci à peine 66% et permettait une diminution, en moyenne, de 48% le gradient de pression chez ces animaux. Les chirurgies sur des SP de type B présentent également un taux de mortalité durant l'intervention plus élevé ainsi qu'un plus grand nombre de récidives (Locatelli et al., 2013).

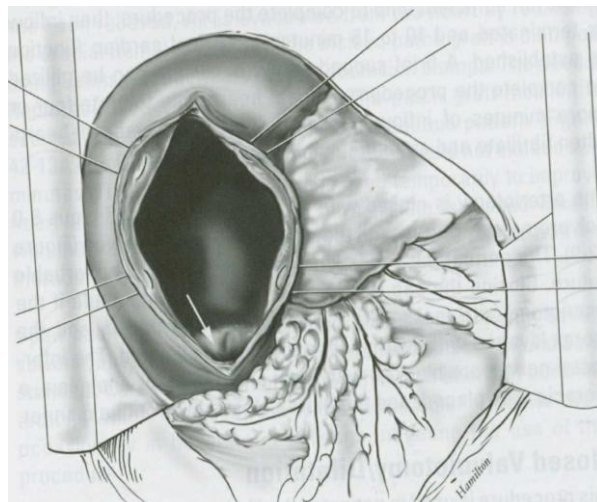
Pour le traitement des SP supra valvulaires, il n'y a pas vraiment de traitement standard mis au point. Cette localisation étant la plus rare des trois, la littérature à son propos n'est pas richement fournie (Treseder and Jung, 2017). Pour rappel dans cette forme, on retrouve la sténose directement dans le tronc pulmonaire ou dans les branches des artères pulmonaires. La littérature ne comporte qu'une seule étude qui fait état d'une valvuloplastie par ballonnet avec cette forme de SP (Treseder and Jung, 2017). C'était un anneau fibreux au niveau du PT qui entraînait cette sténose. La chirurgie fut un succès pour le chien et a permis de passer d'un gradient de 136mmHg en préopératoire à 30mmHg au contrôle échographique 24h après l'intervention (Treseder and Jung, 2017).

La sténose sous valvulaire ne répond pas très bien à la valvuloplastie par ballonnet. Des techniques avec implantations d'un stent ou avec une greffe (cf. 5.2.2) sont plus indiquées pour tenter de soigner le chien (Chetboul and Taton, 2018).

### **5.2.2 Indications pour d'autres techniques chirurgicales :**

De manière brève, abordons en quelques mots d'autres approches chirurgicales qui peuvent être envisagées en cas de contre-indications à la valvuloplastie par Ballonnet. Bien que celles-ci soient nettement plus invasives.

En effet, les valvulotomies/valvulectomies, ouvertes ou fermées pour atteindre la valve pulmonaire, nécessitent toutes une thoracotomie gauche au niveau du quatrième espace intercostal (ou du sixième si l'animal présente une cardiomégalie). Suivi d'une rétraction caudale du lobe pulmonaire crânial gauche, d'une dissection du médiastin et du péricarde ainsi qu'une artériotomie du tronc pulmonaire (figure 8) dans le cadre des techniques ouvertes (Bojrab et al., 2014). La valve atteinte, le chirurgien peut alors réaliser une commissurotomie des feuillets fusionnés, voir exciser un feuillet dysplasique, bien que cette chirurgie soit déconseillée en cas d'atteintes dysplasiques sévères. Elle est plutôt recommandée chez les chiens comme les Bouledogues anglais, majoritairement ceux qui ont des ACC empêchant d'effectuer une valvuloplastie par Ballonnet efficace (Johnston and Tobias, 2018).



*Figure 8: mise en évidence de la sténose pulmonaire (flèche blanche) à la suite d'une artériotomie du tronc pulmonaire dans le cadre d'une valvulotomie ouverte (Bojrab et al., 2014, P645).*

Une autre technique, la valvuloplastie pulmonaire ouverte avec greffe-patch, est indiquée pour les SP valvulaire de type B et les cas où l'hypertrophie infundibulaire est trop importante non



associée à des ACC. Il en va de même pour les SP sous valvulaire (Johnston and Tobias, 2018). En quelques mots, cette chirurgie consiste en une thoracotomie, voire sternotomie, d'une rétraction du lobe crânial gauche suivie d'une incision du péricarde. Le flux sanguin est géré avec des occlusions durant moins de deux minutes, idéalement, ou avec un bypass cardiopulmonaire avec circulation extracorporelle. Après l'excision des feuillets dysplasiques, s'en suit une greffe s'étendant de la région infundibulaire du ventricule jusqu'au tronc pulmonaire au-delà de la sténose (Johnston and Tobias, 2018).

### **5.3 Déroulé de l'opération :**

De l'Aténolol est administré la veille ou le matin de la procédure pour ralentir la fréquence cardiaque, ce qui améliore la visibilité durant l'angiographie ainsi que le positionnement et le gonflage du ballonnet durant l'intervention (Scansen, 2015).

A l'aide d'un cathéter placé de manière transcutanée dans la veine jugulaire externe droite ou fémorale gauche ou droite (Estrada et al., 2005a), une sonde avec un fil-guide est introduite dans la circulation sanguine veineuse. En étant guidée en temps réel par fluoroscopie, la sonde va rejoindre le cœur par l'oreillette droite, passer dans le ventricule droit pour atteindre le tronc pulmonaire. Ensuite, un échange de cathéter est effectué dont le nouveau comprend un fil-guide moins rigide auquel le ballonnet est associé. Ce dernier sera gonflé avec une solution saline pouvant être mélangée avec du produit de contraste afin d'être visible à la fluoroscopie (Bojrab et al., 2014).

Le but de cette manœuvre est de dilater la sténose de manière très brève de l'ordre de quelques secondes. Elle peut être répétée plusieurs fois au besoin. Il faut garder à l'esprit que lors du gonflement du ballonnet, le volume d'éjection du ventricule droit est interrompu de manière abrupte, presque entièrement. Cette interruption peut être accompagnée par une diminution de pression artérielle systémique en cascade à cause d'une diminution de la précharge arrivant au ventricule gauche. Heureusement, dans la majorité des cas, le chien récupère de manière spontanée tout en évitant d'éventuelles répercussions hémodynamiques (Bojrab et al., 2014). Ce point d'attention permet de comprendre pourquoi la durée du (des) gonflement(s) du ballonnet est de l'ordre de quelques secondes (5-6 secondes maximum) et introduire les possibles complications en cas d'obstruction (cf. point 5.4.2) (Scansen, 2015).

L'objectif est de donner à la valve un diamètre correct (figure 9) en utilisant des ballonnets de tailles adéquates. Pour cela, l'anneau pulmonaire est mesuré par échocardiographie (ou angiographie) en préopératoire. Une fois cette mesure connue, un ballonnet dont le diamètre est 1.2 à 1.5 fois supérieur à la taille de l'anneau pulmonaire, est choisi pour l'opération (Bojrab et al., 2014). De manière générale, chez les chiens pesant moins de six kilos, les ballonnets mesurent deux à trois centimètres tandis que pour le reste, ils mesurent trois à quatre centimètres (Scansen, 2015).

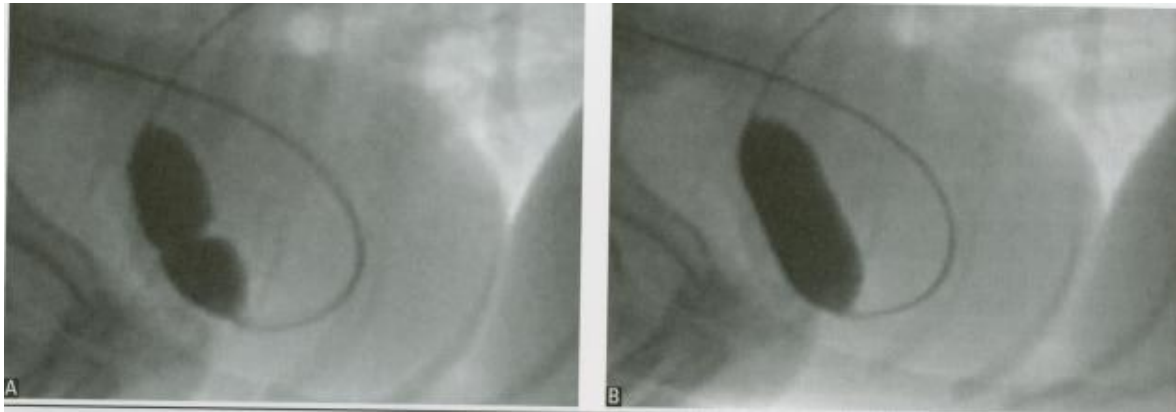


Figure 9: Fluoroscopie durant une valvuloplastie par Ballonnet dans le cadre d'une sténose pulmonaire valvulaire. En A, mise en évidence de la sténose au début du gonflement du ballonnet. En B, la sténose est levée (Bojrab et al., 2014, P658).

Attention, si le diamètre de l'anneau pulmonaire est supérieur à 20mm, cela nécessite un ballonnet mesurant minimum 24 mm qui prendrait trop de temps pour être gonflé. Dans ce cas de figure, la technique à double ballonnet est indiquée (figure 10). Il faut utiliser la formule suivante pour déterminer la taille des ballonnets à utiliser :  $0.82 \times (D1 + D2)$  où « D » représente le diamètre du Ballonnet (Estrada et al., 2005b). L'accès vasculaire comprend alors les deux veines fémorales. Les deux fils guides progressent simultanément. Les deux ballonnets sont positionnés au même endroit à travers de la sténose et gonflés en même temps (Scansen, 2015).

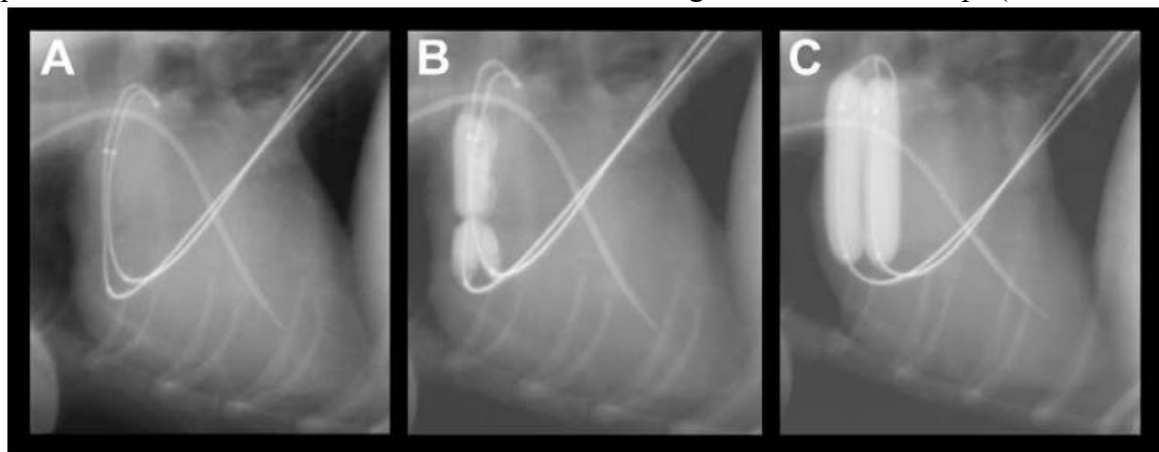


Figure 10: différentes étapes d'une procédure par double ballonnet. En A : les ballonnets sont placés au niveau de la sténose. En B : début du gonflement avec visualisation de la SP. En C : dilatation de la SP (Estrada et al., 2005b).

Une fois que la sténose est levée et le ballonnet dégonflé, une mesure de la pression est prise afin d'évaluer le succès de l'intervention. Si ce n'est pas satisfaisant et que les paramètres anesthésiques sont stables et acceptables, la taille du ballonnet est changée et la procédure recommencée. Une fois que la chirurgie est jugée satisfaisante, le cathéter est retiré ce qui clôture la chirurgie. La procédure est considérée comme réussie si le gradient de pression est réduit de plus 50% (Scansen, 2015).

## **5.4 Soins post-opératoires :**

Un contrôle par échocardiographie est réalisé 24 heures après l'opération dans le but de vérifier que le gradient de pression est bien diminué. Ainsi qu'un contrôle un mois après. D'autres examens de suivi peuvent être réalisés de manière fréquentes car les phénomènes de resténoses ne sont pas anodins (Scansen, 2015).

Certains cas nécessitent toujours un traitement médicamenteux avec des bêta-bloquants.

## **5.5 Complications :**

### **5.5.1 Complications anatomiques :**

Une des complications et contre-indications majeures à la valvuloplastie est la présence d'anomalies coronaires qui nécessitent d'adapter la taille du ballonnet, voire qui entraîne la contre-indication d'une intervention chirurgicale (Fonfara et al., 2010). Dans ce cas de figure, une valvuloplastie par ballonnet conservatrice est indiquée. Il s'agit d'une approche qui comporte moins de risques de lacérer l'artère coronaire en utilisant un ballonnet plus petit : d'une taille inférieure (0.6) ou égale à la taille de l'anneau pulmonaire (Fonfara et al., 2010). La taille de celui-ci étant plus minime, l'élargissement de la sténose et donc l'efficacité de l'intervention seront moindres.

Ces anomalies peuvent entraîner des complications très sévères si elles ne sont pas investiguées (Andreis et al., 2021). Durant l'étude réalisée par (Johnson et al., 2004), un Bouledogue anglais est mort suite à une rupture d'une artère coronaire anormale de type R2A qui n'avait pas été identifiée durant la phase préopératoire.

D'autres anomalies de conformations de la circulation veineuse peuvent compliquer la valvuloplastie. Un développement trop important de la veine azygos peut compliquer la navigation du cathéter venant de la veine jugulaire. En effet, au lieu de continuer dans la veine caudale crânial, il peut progresser dans la veine azygos trop large (Claretti et al., 2019).

Une veine cave caudale en V (figure 11) peut rendre l'avancée provenant des veines fémorales vers la valve pulmonaire difficile voire impossible (Claretti et al., 2019).

Ces deux anomalies peuvent compliquer les manipulations, causer du retard voire entraîner des traumatismes de leurs parois vasculaires (Claretti et al., 2019).

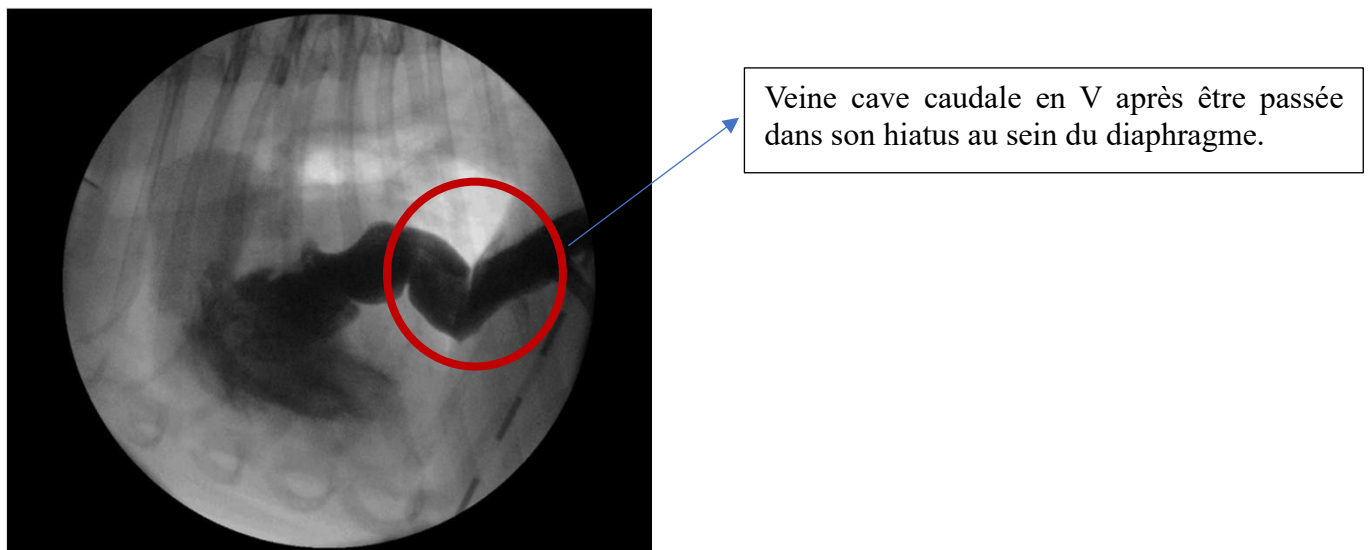


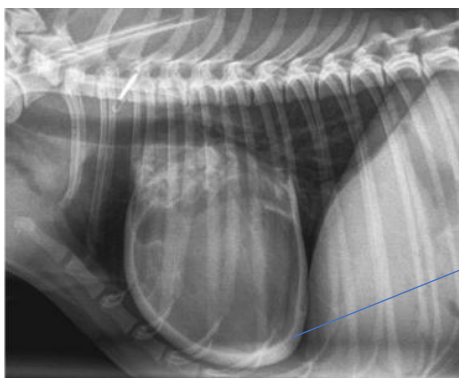
Figure 11: Angiographie sélective de la veine cave caudale (projection latéro-latérale droite) chez un Bouledogue anglais avec une anomalie de conformation (Claretti et al., 2019).

### **5.5.2 Complications techniques :**

- Rupture du ballonnet : bien que ça ne soit pas très fréquent. Lors d'un gonflage du ballonnet si la pression est mal contrôlée, il y a un risque de le rompre et d'entraîner une embolie gazeuse (Scansen, 2015). Les ballons de grandes tailles (>20mm) sont les plus à risques de ruptures. La technique à double ballonnet permet d'éviter cette complication (Claretti et al., 2019).
- Blocage du ballon : encore moins fréquente que les risques de ruptures mais bien plus grave. Le ballonnet peut se coincer au niveau de la valve pulmonaire et ainsi obstruer de manière plus ou moins complète le flux pulmonaire. Cette complication peut faire suite à une quantité trop importante de liquide contraste utilisé pour le gonfler, qui avec

son caractère assez visqueux, peut prendre plus de temps à dégonfler. Il en résulte une désaturation rapide ainsi qu'une diminution nette du volume sanguin arrivant au ventricule gauche et par conséquent de la pression artérielle systémique (Bojrab et al., 2014; Claretti et al., 2019).

- Fibrillation ventriculaire : le fil guide et/ou le ballonnet peut stimuler de manière mécanique le myocarde ce qui entraîne des dépolarisations ventriculaires anarchiques et donc des fibrillations. Elles peuvent être résolues par défibrillation externe (Claretti et al., 2019).
- Perforation de l'infundibulum avec hémopéricarde (Claretti et al., 2019) : complication pouvant être très grave qui survient plutôt chez les chiens de petites races. Lors de la manipulation du fil rigide, qui sert de guide durant notre angiographie ou valvuloplastie, il est possible de percer l'infundibulum du ventricule droit. Cet accident peut entraîner un hémopéricarde pouvant être mortel. Il est possible, heureusement, de s'en rendre compte en peropératoire grâce à la fluoroscopie qui permet de visualiser une déviation anormale du fil guide en dehors de l'artère pulmonaire. Mais aussi via angiographie, ce qui met en évidence une diffusion du produit de contraste dans l'espace péricardique (voir figure 12). Cela représente 20% des complications recensées dans l'étude réalisée par (Claretti et al., 2019).



Observation d'un hémopéricarde à la suite d'une perforation infundibulaire droite. Présence d'une fuite de produit de contraste dans le sac péricardique.

Figure 12 : Angiographie sélective (projection latéro-latérale droite) du ventricule droit (Claretti et al., 2019).

- Un syndrome de Horner isolé : peut apparaître à la suite de l'angiographie par cathéterisation artérielle au niveau de la carotide droite. Il est donc préférable d'utiliser l'artère fémorale gauche (Fonfara et al, 2010). Effectivement, des fibres nerveuses responsables de l'innervation sympathique de l'œil provenant du tronc

vagosympathique passent à proximité des artères carotides (figure 13). La dissection carotidienne ainsi que les cathétérismes nécessaires à l'intervention peuvent léser ces fibres nerveuses ainsi qu'entraîner des hématomes pariétaux pouvant de même les comprimer (Arnold et al., 2008). Pour rappel, un syndrome d'Horner se manifeste cliniquement par : énophtalmie, myosis, procidence de la troisième paupière et une ptose de la paupière supérieure.

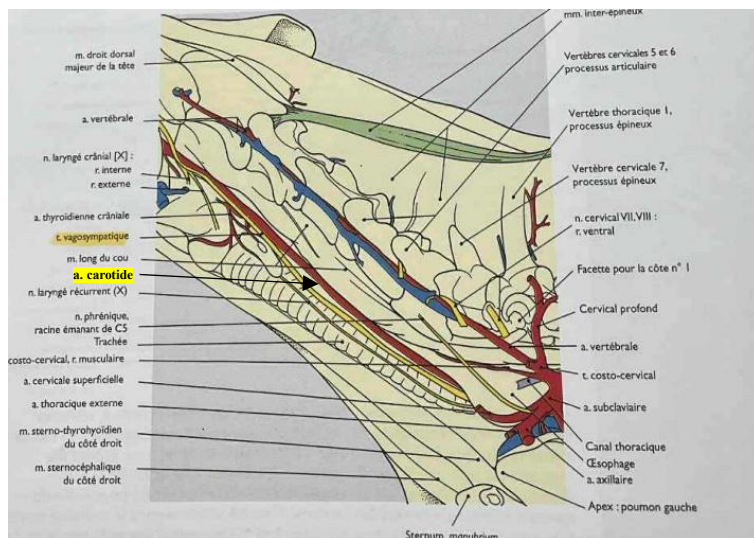


Figure 13: artères et nerfs profonds de la région cervicale ventrale d'un chien. (Done, 2019, P124).

- Le ventricule droit suicidaire : une complication imprévisible et rare qui survient après la chirurgie. Le risque est augmenté chez les chiens ayant une sténose et un remodelage ventriculaire sévère (Aprea et al., 2014). La valvuloplastie entraîne une chute brutale du gradient de pression. Le ventricule hypertrophié habitué à devoir surmonter une post charge très élevée, peut ne pas s'adapter spontanément à la diminution de la résistance systolique (Khambatta et al., 2006). En particulier, la région infundibulaire qui va alors se contracter de manière excessive et créer une nouvelle obstruction et donc réduire le flux sanguin atteignant la circulation pulmonaire. Il en découle *in fine*, un sous remplissage du cœur gauche et une hypotension systémique (Scansen, 2018). On parle alors de suicide du ventricule droit car il crée lui-même sa propre obstruction. Des bolus de Beta bloquant à action rapide (Esmolol) doit alors être injecté en intra veineux. Des bolus de cristalloïdes sont aussi administrés dans le but de dilater le ventricule droit en étirant les fibres myocardiques (Scansen, 2015). Ces deux traitements permettent de diminuer la contraction du myocarde et améliore le remplissage ventriculaire. Tout cela permet d'améliorer le débit cardiaque et permet de faire remonter la pression artérielle systémique (Scansen, 2018).

## 5.6 Pronostic :

L'étude réalisée par (Locatelli et al., 2013) démontre l'efficacité de la valvuloplastie. Pour cette étude, une cohorte de 172 chiens présentant tous au minimum une sténose modérée (>50mmHg) séparée en deux groupes. Un groupe ayant subi une valvuloplastie par Ballonnet et l'autre où les chiens ne sont pas traités de manière chirurgicale. La médian de survie chez les chiens opérés étaient de 64.5 mois contre 3 mois pour l'autre groupe. 53% des chiens atteints d'une SP sévère qui n'ont pas été opérés sont morts dans l'année qui suit. En guise de comparaison, le groupe comprenant les chiens ayant subi la valvuloplastie ne comptait que 5% de décès sur la même période (voir Table I). Cette étude prouve bien l'efficacité ainsi que la nécessité de réaliser une intervention chirurgicale dans le but d'améliorer l'état du chien.

*Table I: Tableau comparant le taux de mortalité entre un groupe ayant eu une valvuloplastie par Ballonnet et un autre n'ayant pas été opéré (Locatelli et al., 2013)*

Table 4. Mortality rates in NPBV group and PBV groups			
Mortality rates	NPBV (%)	Severe NPBV (%)	Moderate NPBV (%)
One year of age	21	53	0
Two years of age	6	18	0
Three years of age	3	0	8
Four years of age	8	20	0
Mortality rates	PBV (%)	Severe PBV (%)	Moderate PBV (%)
One year of age	6	4	0
Two years of age	5	6	12
Three years of age	5	6	0
Four years of age	4	5	0

NPBV pulmonary balloon valvuloplasty

Les résultats obtenus dans cette étude corréleront avec d'autres études visant également à vérifier l'efficacité de la valvuloplastie.

En effet, dans une autre étude plus vieille de Jonhson et al (2004), où une cohorte de 80 chiens souffrant d'une SP sévère a été étudiée. Elle a été divisée en deux groupes égaux : le premier comprenait 40 chiens qui ont tous subi une valvuloplastie par ballonnet, et le deuxième comprenait 41 chiens qui n'ont pas été opérés. 34% des chiens de ce groupe sont morts dans les 9 mois qui ont suivi le diagnostic.

A titre de comparaison sur le même laps de temps, 5% des chiens opérés sont décédés (même pourcentage qu'on l'on retrouve dans l'étude précédente). A cela doit s'ajouter 3 chiens qui sont décédés durant la chirurgie, à la suite de malformations congénitales non détectées.

La chirurgie a permis de réduire en moyenne le gradient de pression de 46%. Ainsi que réduire de 53% le risque de mort subite suite d'origine cardiaque par rapport au groupe non opéré. 34 chiens opérés présentaient initialement des signes cliniques, 80% sont devenus asymptomatiques (Johnson et al., 2004).

Dans le cadre d'une valvuloplastie conservatrice, la qualité de vie, sur base d'une évaluation subjective des propriétaires des animaux, a été améliorée sans avoir eu une nette amélioration de la sténose et du gradient de pression. Le pronostic à long terme par contre ne semble pas spécialement bénéfique (Fonfara et al., 2011). Attention que cette étude présentait certaines limites (nombre d'animaux, une période avec un suivi assez courte, pas de groupes de contrôle).

### **5.6.1 Facteurs pronostics négatifs :**

Une insuffisance (régurgitation) de la valve tricuspide est reconnue comme pouvant être un facteur de pronostic négatif. Pour rappel, à la suite du remodelage ventriculaire, l'oreillette et le ventricule vont avoir tendance à se dilater. La valve tricuspide n'en fait pas de même. Les trois feuillets de cette valve auriculo-ventricule ne parviennent plus à se coapter de manière adéquate durant la contraction du ventricule droit. Tout ceci donne des signes de décompensation congestive du cœur droit (Cf. point 2.2).

Elle peut aussi artificiellement sous-estimer la sévérité de la sténose pulmonaire. Ceci s'explique par le fait qu'une partie du sang éjecté durant la systole passe via cette fuite atrio-ventriculaire et donc moins de volume sanguin passe par la valve pulmonaire. Le débit sanguin, la vitesse du flux et le gradient de pression pouvant être mesurés à l'aide d'un doppler s'en retrouvent diminuer. En plus de mener à des signes cliniques de décompensation cardiaque, une régurgitation peut donc masquer la véritable gravité d'une sténose pulmonaire de manière exponentielle à sa propre sévérité (Francis et al., 2011) !

D'après l'étude menée par Johnson et Martin (2004), sur les 6 chiens ayant une régurgitation tricuspidiennne, 5 sont morts d'une décompensation cardiaque provenant de celle-ci. 3 d'entre eux sont morts durant la chirurgie (valvuloplastie par ballonnet ou chirurgie par greffe de patch). Les 2 derniers sont morts respectivement 4 et 18 mois après l'intervention (Johnson and Martin, 2004).



Comme déjà mentionné au point 2.2, le pronostic vital du chien atteint d'un SP est corrélé avec la valeur du gradient d'éjection. Une étude (Johnson et al., 2004) a démontré que lorsque ce gradient augmentait d'à peine 1 mm Hg, le risque de mortalité augmentait de 3%.

Une sténose sévère (>80mmHg) représente un risque de décès à la suite d'une atteinte cardiaque vingt-cinq fois plus important qu'une SP légère. Ces résultats témoignent la nécessité pour ces chiens d'être traités avec une valvuloplastie par ballonnet (Francis et al., 2011).

## **6. Et chez les autres animaux ?**

Bien que la sténose pulmonaire soit assez fréquemment retrouvée chez le chien ce n'est pas le cas chez les autres espèces. Ce petit chapitre permet de comparer brièvement les résultats obtenus chez le chien avec ceux retrouvés chez d'autres animaux.

### **6.1 Le chat :**

Contrairement aux chiens, la sténose pulmonaire n'est pas une pathologie cardiaque congénitale fréquemment rencontrée. Elle ne représente que 2-3% des malformations cardiaques dont les chats peuvent souffrir (Schrope and Kelch, 2007). La forme la plus rencontrée est similaire à celle du chien : la sténose pulmonaire valvulaire (Kittleson, 1998). L'atteinte cardiaque congénitale la plus fréquente chez le chat étant la communication interventriculaire (CIV). (Schrope, 2015)

Peu d'informations sont disponibles sur cette pathologie. Il semble que malgré le peu d'études sur le sujet, la valvuloplastie est également une bonne solution thérapeutique qui améliore la qualité de vie du chat (Johnson and Martin, 2003) (Schrope, 2008).

### **6.2 Les bovins :**

En règle générale, les atteintes cardiaques chez les bovins sont peu fréquentes et assez peu diagnostiquées (Couture and Francoz, 2014). Il n'est pas rare qu'elles soient plutôt mises en évidence lors d'une nécropsie ou une trouvaille d'abattoir (Chérel, 2017).

Les anomalies congénitales cardiaques ne sont présentes que dans 0,2% des bovins (Peek and Divers, 2018) et ne représentent qu'à peine 3% des pathologies congénitales pouvant arriver chez les veaux (Francoz et al., 2017) ! Si elles ne sont pas trop graves, elles peuvent alors être

mises en évidence qu'à l'âge adulte. Dans le cas contraire, les signes cliniques étant assez importants, le diagnostic se fera sur le veau.

Dans toutes les races bovines, la maladie congénitale cardiaque la plus fréquente est la communication interventriculaire (Peek and Divers, 2018). La sténose pulmonaire étant une anomalie plus rarement rencontrée (en association avec une CIV, hypertrophie du ventricule droit et une dextroposition de l'aorte lors de tétralogie de Fallot). Ces animaux présentent systématiquement des signes cliniques : intolérance à l'effort, retard de croissance, souffle systolique, œdèmes sous-cutanés, cyanose, dyspnée, mort subite, etc... Et le pronostic vital n'est pas bon (Peek and Divers, 2018).

### **6.3 Les petits ruminants :**

Les informations sont rares et la mise en évidence de pathologies cardiaques est pauvre.

Les petits ruminants montrent peu de signes (étant liés à leur mode de vie de proies et leur caractère non athlétique).

Des valvuloplasties par ballonnet ont été réalisées chez deux jeunes alpagas souffrant de sténose sévère. La SP étant évidemment une atteinte extrêmement rare chez les alpagas et la documentation est fortement limitée. Une intervention classique et une technique à double ballonnet ont été réalisées. Toutes deux ont été un succès permettant de réduire de 80% de gradient de pression et améliorant la qualité de vie des deux animaux. Ces résultats montrent que l'efficacité de la valvuloplastie est démontrée aussi chez des espèces non conventionnelles (Funk et al., 2021).

### **6.4 Le cheval :**

Les atteintes congénitales cardiaques chez le cheval sont inférieures à ce qu'on peut retrouver chez le chien. L'incidence est de 0.1 à 0.5% (Hall et al., 2010). Bien qu'extrêmement rares, ces pathologies cardiaques chez un poulain peuvent entraîner un retard de croissance et de l'intolérance à l'effort pouvant compromettre un éventuel avenir sportif chez le poulain. Elles nécessitent donc une prise en charge immédiate dès leurs mises en évidence. Comme pour le chat et les bovins, la communication interventriculaire est la pathologie congénitale cardiaque la plus rencontrée en médecine équine. La sténose pulmonaire est très rare et est, majoritairement, une des composantes d'une tétralogie de Fallot (Hall et al., 2010).

En raison de la rareté de cette pathologie chez les équins, la littérature sur la valvuloplastie par ballonnet est maigre. Néanmoins la chirurgie sur un poulain souffrant d'une SP sévère fut un franc succès. En effet, l'intervention a permis de passer d'un gradient de 125mmHg à 38mmHg (Junge et al., 2021).

## **7. Conclusion :**

Le pronostic pour les SP qui rentrent dans les conditions idéales (valvulaire, Type A, pas de signes cliniques associés...) sont excellents ! Comme cela a été démontré avec les nombreuses études passées en revue pour l'écriture de ce travail. Envisager une valvuloplastie est donc une option extrêmement sérieuse. Cette option peut également permettre, certes avec des résultats moindres, améliorer la qualité de vie des animaux ayant une SP associée à des anomalies de conformations des artères coronaires.

Il en va de même pour les espèces non conventionnelles à cette chirurgie. Même s'il est vrai que la littérature est encore pauvre et d'autres études devront voir le jour pour apporter plus de précision. Les résultats obtenus pour l'instant acquiescent que la valvuloplastie est une option thérapeutique sérieuse chez tous les animaux souffrant d'une sténose pulmonaire valvulaire sévère.

Bien que quelques complications étant toujours possibles, celles-ci restent très rares. Et les bénéfices de cette chirurgie dépassent amplement le faible risque d'en développer une. Des examens médicaux et d'imageries préventifs, une technique chirurgicale précise et maîtrisée ainsi qu'un suivi post-opératoire minutieux contribuent à fortement minimiser ces complications.

D'autres options thérapeutiques ou chirurgicales qui ont été sélectionnées et brièvement décrites (cf. 5.2.2) sont toujours disponibles. Il en va de même pour d'autres options non développées dans ce travail comme l'implantation d'un stent par exemple (Scansen, 2018). Celles-ci permettent d'élargir le choix thérapeutique et les options chirurgicales en fonction de la spécificité du cas.

En conclusion, la valvuloplastie par ballonnet est le traitement standard dans la gestion de la sténose pulmonaire canine sévère. Ses indications sont bien établies pour les formes valvulaires, avec un pronostic excellent. Cette procédure est une intervention sûre et efficace, offrant un impact positif majeur sur le pronostic vital et la condition de vie des animaux atteints.

## **8. Déclaration d'utilisation de l'IA générative et des technologies assistées par l'IA dans le processus de rédaction :**

N'étant pas un mordu d'informatique, je n'ai pas la science infuse pour manipuler des IA. En toute sincérité, je me méfie même de tout ce qu'elles peuvent dire. Je ne sais jamais si c'est vraiment fiable à 100%.

Néanmoins je déclare m'être aidé pour ce travail de deux IA : Gemini et Chat GPT.

Je les ai utilisées de manière limitée pour traduire les différents articles rencontrés et reformuler certaines phrases de ce travail lorsque je n'étais pas satisfait de moi-même. Je les ai utilisées aussi pour faire la traduction en anglais afin de pouvoir remplir ma page 4 (objectifs et résumé). Toutes les informations scientifiques qui ont pu être trouvées ont été consciencieusement vérifiées par moi-même dans de la littérature.

## **Liste des abréviations :**

SP : sténose pulmonaire

PT : tronc pulmonaire

DCC D : décompensation cardiaque congestive droite

AAC : anomalies des artères coronaires

ACP : acépromazine

## **9. Bibliographie :**

- Andreis, M.E., Panopoulos, I., Domenech, O., Lacava, G., Rondelli, V., Zini, E., Auriemma, E., 2021. Novel coronary artery anomaly in a French bulldog with pulmonary stenosis. *Journal of Veterinary Cardiology* 35, 1–7. doi:10.1016/j.jvc.2021.02.003
- Aprea, F., Clark, L., Whitley, N.T., Oliveira, P., 2014. Presumed ‘suicidal right ventricle’ in a Cocker Spaniel dog undergoing pulmonary valve balloon dilation and its prevention in an analogous case. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 41, 438–439. doi:10.1111/vaa.12134
- Arnold, M., Baumgartner, R.W., Stapf, C., Nedeltchev, K., Buffon, F., Benninger, D., Georgiadis, D., Sturzenegger, M., Mattle, H.P., Bousser, M.-G., 2008. Ultrasound Diagnosis of Spontaneous Carotid Dissection With Isolated Horner Syndrome. *Stroke* 39, 82–86. doi:10.1161/STROKEAHA.107.492652
- Barone, R., 2021. Anatomie comparée des mammifères domestiques - Tome 5: Angiologie, 2e édition. ed. ACV Association centrale d’entraide vétérinaire, Paris.
- Bojrab, M.J., Waldron, D.R., Toombs, J.P., 2014. Current techniques in small animal surgery, 5th edition. ed. Teton NewMedia, Jackson, pp. 642-659.
- Buchanan, J.W., 1990. Pulmonic stenosis caused by single coronary artery in dogs: Four cases (1965-1984). doi:10.2460/javma.1990.196.01.115
- Buchanan, J.W., 2001. Pathogenesis of Single Right Coronary Artery and Pulmonic Stenosis in English Bulldogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 15, 101–104. doi:10.1111/j.1939-1676.2001.tb01239.x
- Budras, K.-D., 2007. Anatomy of the dog: an illustrated text, 5th rev. ed. ed. Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover, pp. 44-47.
- Bussadori, C., DeMadron, E., Santilli, R.A., Borgarelli, M., 2001. Balloon Valvuloplasty in 30 Dogs with Pulmonic Stenosis: Effect of Valve Morphology and Annular Size on Initial and 1-Year Outcome. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 15, 553–558. doi:10.1111/j.1939-1676.2001.tb01590.x
- Bussadori, C., 2023. Textbook of Cardiovascular Medicine in dogs and cats. Edizioni LSWR, pp. 115-136.
- Chérel, Y., 2017. Autopsie des bovins, 2e édition. ed, Atlas. Les Editions du Point vétérinaire, Puteaux, pp. 120-125.
- Chetboul, V., Taton, C., 2018. Encyclopédie animée d’imagerie cardiovasculaire ultrasonore du chien et du chat: Plus de 250 vidéos dont 30 animations 3D. Elsevier Health Sciences, pp. 235-274.
- Claretti, M., Lopez, B.S., Boz, E., Martelli, F., Pradelli, D., Bussadori, C.M., 2019. Complications during catheter-mediated patent ductus arteriosus closure and pulmonary balloon valvuloplasty. *Journal of Small Animal Practice* 60, 607–615. doi:10.1111/jsap.13046
- Couture, Y., Francoz, D., 2014. Manuel de médecine des bovins. Editions Med’com, Paris, pp. 109-110.
- Done, S.H., 2019. Précis d’anatomie du chien et du chat. Editions Med’Com, Paris.
- Estrada, A., Moïse, N.S., Renaud-Farrell, S., 2005. When, how and why to perform a double ballooning technique for dogs with valvular pulmonic stenosis. *Journal of Veterinary Cardiology* 7, 41–51. doi:10.1016/j.jvc.2004.12.001
- Ettinger, S.J., Feldman, E.C., Cote, E., 2024. Ettinger’s Textbook of Veterinary Internal Medicine - eBook: Ettinger’s Textbook of Veterinary Internal Medicine - eBook. Elsevier Health Sciences, pp. 1331-1335.

- Fonfara, S., Martinez Pereira, Y., Swift, S., Copeland, H., Lopez-Alvarez, J., Summerfield, N., Cripps, P., Dukes-McEwan, J., 2010. Balloon valvuloplasty for treatment of pulmonic stenosis in English Bulldogs with an aberrant coronary artery. *J Vet Intern Med* 24, 354–359. doi:10.1111/j.1939-1676.2009.0458.x
- Fonfara, S., Martinez Pereira, Y., Dukes McEwan, J., 2011. Balloon Valvuloplasty for Treatment of Pulmonic Stenosis in English Bulldogs with an Aberrant Coronary Artery—2 Years Later. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 25, 771–771. doi:10.1111/j.1939-1676.2011.0769.x
- Francis, A.J., Johnson, M.J.S., Culshaw, G.C., Corcoran, B.M., Martin, M.W.S., French, A.T., 2011. Outcome in 55 dogs with pulmonic stenosis that did not undergo balloon valvuloplasty or surgery. *Journal of Small Animal Practice* 52, 282–288. doi:10.1111/j.1748-5827.2011.01059.x
- Francoz, D., Nichols, S., Schelcher, F.J., 2017. *Guide pratique des maladies du veau*. Editions Med'Com, Paris, pp. 105-107.
- Funk, L.L., Rodriguez, K.T., Leach, S.B., 2021. Balloon valvuloplasty in 2 juvenile alpacas with severe valvular pulmonic stenosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 35, 2069–2074. doi:10.1111/jvim.16198
- Hall, T. I., Magdesian, K. g., Kittleson, M. d., 2010. Congenital Cardiac Defects in Neonatal Foals: 18 Cases (1992–2007). *Journal of Veterinary Internal Medicine* 24, 206–212. doi:10.1111/j.1939-1676.2009.0445.x
- Hallman, C., Baumwart, R., Hallman, R.M., 2024. 64-Slice ECG-gated computed tomographic angiography for assessment of coronary arteries in brachycephalic dogs with pulmonary stenosis. *Veterinary Record* 194, e3857. doi:10.1002/vetr.3857
- Hermanson, J.W., Lahunta, A. de, 2018. *Miller and Evans' Anatomy of the Dog - E-Book*. Elsevier Health Sciences, pp. 495-509.
- Hill, P., 2012. *Les 100 consultations les plus fréquentes en médecine des animaux de compagnie*. Med'Com, Paris, pp. 210-213.
- Hurwitz, E.E., Simon, M., Vinta, S.R., Zehm, C.F., Shabot, S.M., Minhajuddin, A., Abouleish, A.E., 2017. Adding Examples to the ASA-Physical Status Classification Improves Correct Assignment to Patients. *Anesthesiology* 126, 614–622. doi:10.1097/ALN.0000000000001541
- Johnson, M.S., Martin, M., 2003. Balloon Valvuloplasty in a Cat with Pulmonic Stenosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 17, 928–930. doi:10.1111/j.1939-1676.2003.tb02535.
- Johnson, M.S., Martin, M., 2004. Results of balloon valvuloplasty in 40 dogs with pulmonic stenosis. *Journal of Small Animal Practice* 45, 148–153. doi:10.1111/j.1748-5827.2004.tb00217.x
- Johnson, M.S., Martin, M., Edwards, D., French, A., Henley, W., 2004. Pulmonic Stenosis in Dogs: Balloon Dilation Improves Clinical Outcome. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 18, 656–662. doi:10.1111/j.1939-1676.2004.tb02602.x
- Johnston, S.A., Tobias, K.M., 2018. *Veterinary surgery: small animal*, Second edition. ed. Elsevier, St. Louis, Missouri, pp. 643-659.
- Junge, H.K., Glaus, T., Matos, J.N., Meira, C., Schwarz, A., Hoey, S., Dennler, M., Schwarzwald, C.C., Mitchell, K.J., 2021. Balloon valvuloplasty of valvular pulmonary stenosis in a neonatal foal. *Journal of Veterinary Cardiology* 36, 48–54. doi:10.1016/j.jvc.2021.04.008
- Khambatta, H.J., Velado, M., Gaffney, J.W., Schechter, W.S., Casta, A., 2006. Management of right ventricular outflow tract reactivity following pulmonary valve dilatation under general anesthesia: experience of a medical mission. *Pediatric Anesthesia* 16, 1087–1089. doi:10.1111/j.1460-9592.2006.01943.x

- Kittleson, M.D., 1998. Small animal cardiovascular medicine. Mosby, St. Louis.
- Lamont, L., Grimm, K., Robertson, S., Love, L., Schroeder, C., 2024. Veterinary Anesthesia and Analgesia, The 6th Edition of Lumb and Jones. John Wiley & Sons.
- Locatelli, C., Spalla, I., Domenech, O., Sala, E., Brambilla, P.G., Bussadori, C., 2013. Pulmonic stenosis in dogs: survival and risk factors in a retrospective cohort of patients. *Journal of Small Animal Practice* 54, 445–452. doi:10.1111/jsap.12113
- Peek, S.F., Divers, T.J., 2018. *Rebhun's Diseases of Dairy Cattle - E-Book: Rebhun's Diseases of Dairy Cattle - E-Book*. Elsevier Health Sciences, pp. 54-56.
- Ramos, R.V., Monteiro-Steagall, B.P., Steagall, P.V.M., 2014. Management and complications of anaesthesia during balloon valvuloplasty for pulmonic stenosis in dogs: 39 cases (2000 to 2012). *Journal of Small Animal Practice* 55, 207–212. doi:10.1111/jsap.12182
- Scansen, B.A., 2015. Pulmonary Valve Stenosis, in: *Veterinary Image-Guided Interventions*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 575–587. doi:10.1002/9781118910924.ch59
- Scansen, B.A., 2017. Coronary Artery Anomalies in Animals. *Veterinary Sciences* 4, 20. doi:10.3390/vetsci4020020
- Scansen, B.A., 2018. Cardiac Interventions in Small Animals: Areas of Uncertainty. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Interventional Radiology* 48, 797–817. doi:10.1016/j.cvsm.2018.05.003
- Schrope, D.P., Kelch, W.J., 2007. Clinical and echocardiographic findings of pulmonary artery stenosis in seven cats. *Journal of Veterinary Cardiology* 9, 83–89. doi:10.1016/j.jvc.2007.09.001
- Schrope, D.P., 2008. Primary pulmonic infundibular stenosis in 12 cats: Natural history and the effects of balloon valvuloplasty. *Journal of Veterinary Cardiology* 10, 33–43. doi:10.1016/j.jvc.2008.04.001
- Schrope, D.P., 2015. Prevalence of congenital heart disease in 76,301 mixed-breed dogs and 57,025 mixed-breed cats. *Journal of Veterinary Cardiology* 17, 192–202. doi:10.1016/j.jvc.2015.06.001
- Treseder, J.R., Jung, S., 2017. Balloon dilation of congenital supra-ventricular pulmonic stenosis in a dog. *J Vet Sci* 18, 111–114. doi:10.4142/jvs.2017.18.1.111
- Viscasillas, J., Sanchis-Mora, S., Palacios, C., Mathis, A., Alibhai, H., Brodbelt, D.C., 2015. Anaesthetic management and complications of balloon valvuloplasty for pulmonic stenosis in dogs. *Veterinary Record* 177, 340–340. doi:10.1136/vr.103146