

**VETAGRO SUP
CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n° 034

***LE COLLAPSUS TRACHÉAL CHEZ LE CHIEN :
LES INNOVATIONS THÉRAPEUTIQUES***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 21 Septembre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

SAUREL Marie-Lucie



**VETAGRO SUP
CAMPUS VÉTÉRAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n° 034

***LE COLLAPSUS TRACHÉAL CHEZ LE CHIEN :
LES INNOVATIONS THÉRAPEUTIQUES***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 21 Septembre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

SAUREL Marie-Lucie



Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (1er mars 2018)

Nom	Prénom	Département	Grade
ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
GILLOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
JEANNIN	Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDoux	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MATEOS	Stevana	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
RIVES	Germain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélié	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

Remerciements

À Monsieur le Professeur Gilles DEVOUASSOUX,

De la faculté de Médecine de Lyon,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,

Hommages respectueux et sincères remerciements.

À Monsieur le Professeur Eric VIGUIER,

Du campus vétérinaire de VetAgro-Sup,

Qui m'a proposé cette idée de sujet de thèse et a accepté de l'encadrer. Pour son analyse critique et sa présence tout au long de ce travail,

Sincères remerciements.

À Madame le Docteur Marine HUGONNARD,

Du campus vétérinaire de VetAgro-Sup,

Qui a accepté de juger mon travail et de participer à mon jury de thèse, ainsi que pour son aide lors de la recherche d'illustrations,

Sincères remerciements.

Table des matières

TABLE DES FIGURES	15
TABLE DES TABLEAUX	19
LISTE DES ABREVIATIONS	21
I. INTRODUCTION ET GENERALITES	23
A. DEFINITION DU COLLAPSUS TRACHEAL	23
B. GENERALITES	23
C. IMPORTANCE	23
II. ELEMENTS ANATOMIQUES, STRUCTURAUX, ETIOLOGIQUES ET PHYSIOPATHOLOGIQUES DES COLLAPSUS TRACHEAUX	25
A. ANATOMIE	25
B. HISTOLOGIE	26
C. ETIOLOGIE	27
1. <i>Facteurs prédisposants</i>	28
2. <i>Facteurs déclenchants et aggravants</i>	28
D. PHYSIOPATHOLOGIE ET ELEMENTS LESIONNELS	29
1. <i>Les modifications histologiques et structurales</i>	29
2. <i>Les différents grades du collapsus trachéal</i>	30
3. <i>Conséquences des modifications structurales au cours de la respiration</i>	31
i. Pressions exercées sur la trachée chez un chien sain	31
ii. Modifications lors du collapsus trachéal	31
4. <i>Perturbation de l'ascenseur muco-ciliaire</i>	32
III. ASPECTS CLINIQUES DES COLLAPSUS TRACHEAUX	35
A. COMMEMORATIFS	35
B. ANAMNESE ET SYMPTOMATOLOGIE	35
C. PATHOLOGIES ASSOCIEES ET FORMES AGGRAVEES DE COLLAPSUS TRACHEAL	35
1. <i>Un collapsus bronchial</i>	35
2. <i>Une bronchiectasie</i>	36
3. <i>Une maladie dentaire ou parodontale</i>	36
4. <i>Une obstruction laryngée</i>	36
5. <i>Une pathologie cardiaque</i>	36
6. <i>Une pathologie hépatique</i>	36
D. DIAGNOSTIC	37
1. <i>Diagnostic Clinique</i>	37
i. Inspection	37
ii. Palpation	38
iii. Auscultation	38
2. <i>Diagnostic paraclinique</i>	38
i. Mesure des volumes et débits respiratoires	38
i. Radiographie	40
ii. Fluoroscopie	41

iii. Trachéoscopie	42
iv. Tomodensitométrie.....	43
v. Echographie	43
3. <i>Diagnostic différentiel</i>	43
i. Pathologies à envisager lors de toux chronique	43
ii. Autres pathologies trachéales	44
E. PRONOSTIC.....	45
F. TRAITEMENTS CLASSIQUES.....	46
1. <i>Médical</i>	46
i. Traitement d'urgence.....	46
ii. Traitement des formes chroniques	46
i) Mesures hygiéniques et prise en charge des pathologies concomitantes.....	46
ii) Médicaments.....	47
2. <i>Chirurgical</i>	48
i. La chondrotomie trachéale.....	49
i) Description.....	49
ii) Avantages.....	49
iii) Inconvénients.....	49
iv) Bilan.....	49
ii. Résection et anastomose trachéale.....	50
i) Description.....	50
ii) Avantages.....	50
iii) Inconvénients.....	50
iv) Bilan.....	51
iii. Plicature de la membrane trachéale dorsale.....	51
i) Description.....	51
ii) Avantages.....	51
iii) Inconvénients.....	51
iv) Bilan.....	51
iv. Prothèses extra-luminales.....	51
i) Définition.....	51
ii) Rappel historique et présentation des différents types de prothèses extra luminales..	52
a. Tubes en matière plastique	52
b. Anneaux en forme de « C »	52
a) Réalisés à partir de seringues en polypropylène.....	52
b) Réalisés en Teflon.....	53
c) Réalisés à partir de la chambre compte-goutte en polychlorure de vinyle d'un perfuseur par gravité	54
d) Prothèses manufacturées	54
c. Prothèses spiralées.....	55
iii) Avantages des prothèses extra-luminales manufacturées et survie au long terme.....	56
iv) Effets de la présence d'un collapsus intrathoracique sur les résultats de la chirurgie ...	57
v) Inconvénients.....	57
a. Inconvénients des différentes prothèses extra-trachéales.....	57
b. Complications	58
a) Paralysie laryngée.....	58

b)	Nécessité d'une trachéotomie suite à la chirurgie	59
c)	Ischémie et nécrose.....	59
d)	Toux et dyspnée	60
e)	Accumulation de mucus au sein de la trachée.....	60
f)	Progression du collapsus trachéal entre les anneaux trachéaux mis en place.	60
g)	Migration.....	60
h)	Fracture des implants et perforation d'organes	60
vi)	Améliorations possibles.....	61
IV.	INNOVATIONS THERAPEUTIQUES : LES PROTHESES ENDO-TRACHEALES.....	63
A.	DEFINITION.....	63
B.	LES CARACTERISTIQUES DU STENT IDEAL.....	63
C.	HISTORIQUE.....	63
1.	<i>Développement des stents en médecine humaine</i>	63
2.	<i>Développement des stents en médecine vétérinaire</i>	64
D.	LES PREMIERS STENTS DEVELOPPES : STENTS METALLIQUES DE PREMIERE GENERATION	65
1.	<i>Stent Palmaz-Schatz</i>	65
i.	Description	65
ii.	Avantages	65
iii.	Inconvénients.....	65
iv.	Bilan.....	66
2.	<i>Stent Gianturco Z</i>	66
i.	Description	66
ii.	Stents non couverts.....	66
i)	Présentation	66
ii)	Avantages.....	66
iii)	Inconvénients.....	66
iii.	Stents couverts	67
i)	Présentation	67
ii)	Revêtement et traitement de surface adaptés.....	67
iii)	Revêtement et traitement de surface inadaptés	67
iv.	Bilan.....	67
E.	LES STENTS DE NOUVELLES GENERATIONS, DISPONIBLES EN MEDECINE HUMAINE AINSI QU'EN RECHERCHE PRECLINIQUE.....	68
1.	<i>Stents en silicone</i>	68
i.	Stent Dumon.....	68
i)	Description.....	68
ii)	Avantages.....	68
iii)	Inconvénients.....	68
iv)	Bilan.....	69
ii.	Stent Dumon modifié.....	69
i)	Description.....	69
ii)	Avantages.....	69
iii)	Inconvénients.....	69
iv)	Bilan.....	69
2.	<i>Stents métalliques de deuxième génération</i>	70

i.	Wallstent.....	70
i)	Description.....	70
ii)	Avantages.....	70
iii)	Inconvénients.....	71
iv)	Bilan.....	72
ii.	Stent Ultraflex™.....	72
3.	<i>Stent hybride</i>	73
i.	Stent Dynamic™ (Y).....	73
i)	Description.....	73
ii)	Avantages.....	74
iii)	Inconvénients.....	74
iv)	Bilan.....	74
ii.	Stent Polyflex™.....	74
i)	Description.....	74
ii)	Avantages.....	75
iii)	Inconvénients.....	75
iv)	Bilan.....	75
4.	<i>Stents bioabsorbables</i>	75
i.	Description.....	75
ii.	Avantages.....	75
iii.	Inconvénients.....	76
F.	LES STENTS DE NOUVELLES GENERATIONS, DISPONIBLES EN MEDECINE VETERINAIRE.....	76
1.	<i>Stents métalliques de deuxième génération : Les stents en Nitinol</i>	76
i.	Définition.....	77
ii.	Propriétés du Nitinol et applications médicales.....	77
i)	Différents types de stent en Nitinol.....	77
ii)	Biocompatibilité.....	77
iii)	Superélasticité.....	78
iv)	Mémoire de forme.....	78
v)	Hystérésis élevée.....	79
vi)	Radio-opacité.....	80
iii.	Stents utilisés au sein de la trachée des chiens présentant un collapsus trachéal.....	81
iv.	Mise en place du stent.....	82
i)	Étapes de mise en place du stent.....	82
ii)	Complications possibles durant le déploiement.....	85
iii)	Résultat.....	85
v.	Avantages.....	87
vi.	Survie à court et long terme.....	87
vii.	Inconvénients.....	88
i)	Complications mineures.....	88
a.	Trachéite et hyperplasie de la muqueuse.....	88
b.	Toux.....	89
c.	Pneumonie.....	89
ii)	Interférence avec l'appareil muco ciliaire et production excessive de mucus.....	89
iii)	Fracture et déformation.....	90
iv)	Granulome.....	92

v) Migration	93
vi) Raccourcissement trop important du stent après sa pose.....	94
vii) Diamètre de la trachée plus large que le diamètre du stent et risque d'expectoration des stents.....	94
viii) Délogement d'un thrombus	94
ix) Nouveau collapsus trachéal.....	95
x) Paralysie laryngée.....	95
viii. Comparaison avec les anneaux extra-trachéaux	95
G. CHOIX DE LA TAILLE ET DU TYPE DE STENT	97
1. Intérêt du bon choix de la taille et du type de stent.....	97
2. Les différentes techniques de mesures trachéales utilisées, leurs avantages et leurs limites	98
i. Mesures sur des radiographies.....	98
i) Méthodes utilisées	98
ii) Difficultés rencontrées.....	99
ii. Mesures sur des images de fluoroscopie	100
iii. Mesures sur des images de scanner	100
3. Variabilité intra et inter-observateur lors des mesures trachéales.....	101
4. Quelle taille de stent choisir finalement et sur quelle longueur de la trachée mettre en place le stent ?	102
H. AUTRES INNOVATIONS A L'ETUDE	104
1. Régénération du cartilage trachéal.....	104
i. Par l'action d'une protéine	104
ii. Par culture de cellules souches	104
2. Prothèses et greffes trachéales	105
CONCLUSION.....	107
BIBLIOGRAPHIE	109

Table des figures

FIGURE 1 : ANATOMIE DE LA TRACHEE DU CHIEN : PORTION TERMINALE ET BRONCHES SOUCHES, D'APRES BARONNE, 1997.....	25
FIGURE 2 : COUPE TRANSVERSALE DE TRACHEE D'UN CHIEN PRELEVEE EN REGION CERVICALE, D'APRES BARONNE, 1997.....	25
FIGURE 3 : PLACE DE LA TRACHEE AU SEIN DES STRUCTURES DU COU DU CHIEN, D'APRES DONE SH. ET AL., 2009.....	26
FIGURE 4 : SCHEMA D'UNE COUPE TRANSVERSE DE TRACHEE DE CHIEN (IMAGE DE GAUCHE), COUPE HISTOLOGIQUE TRANSVERSE DE TRACHEE DE CHIEN (IMAGE DE DROITE). LEGENDES : AD=ADVENTICE, AC= ARCEAU CARTILAGINEUX, TLD=TISSU LYMPHOÏDE DIFFUS, LU= LUMIERE DE LA TRACHEE. SERVICE D'ANATOMIE PATHOLOGIE, VETAGRO-SUP.	27
FIGURE 5 : COUPE HISTOLOGIQUE D'UNE TRACHEE DE CHIEN. SERVICE D'ANATOMIE PATHOLOGIE, VETAGRO-SUP. ...	27
FIGURE 6 : COUPES DE TRACHEES D'UN CHIEN PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL ET D'UN CHIEN NORMAL, SERVICE DE MEDECINE, VETAGRO-SUP.....	29
FIGURE 7 : DIFFERENTS GRADES DE COLLAPSUS TRACHEAL ET LEURS CARACTERISTIQUES. SERVICE DE MEDECINE, VETAGRO-SUP.....	31
FIGURE 8 : COLLAPSUS EXTRA-THORACIQUE EN INSPIRATION.....	32
FIGURE 9 : COLLAPSUS INTRATHORACIQUE EN EXPIRATION.....	32
FIGURE 10 : CERCLE VICIEUX DU COLLAPSUS TRACHEAL	33
FIGURE 11 : LES DIFFERENCES ENTRE LES COURBES DE DEBIT SUR VOLUME D'AIR ENTRE DES CHIENS SAINS ET DES CHIENS PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL (A : DEBUT DU PATEAU INSPIRATOIRE, B : FIN DU PATEAU INSPIRATOIRE). EXTRAIT DE PARDALI, ADAMANA-MORAITOU ET RALLIS, 2010.....	39
FIGURE 12 : EQUATIONS PERMETTANT LE CALCUL DE VALEURS DIAGNOSTIQUES POUR LE COLLAPSUS TRACHEAL ET L'OBTENTION DE SON GRADE, D'APRES PARDALI, ADAMANA-MORAITOU ET RALLIS, 2010.....	39
FIGURE 13 : CARTE TERRITORIALE MISE EN PLACE PAR PARDALI, ADAMANA-MORAITOU ET RALLIS EN 2010. ..	40
FIGURE 14 : RADIOGRAPHIE DE PROFIL D'UNE CHIENNE CANICHE CROISEE YORKSHIRE DE 5 ANS PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL PRINCIPALEMENT EXTRA THORACIQUE. SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE VETAGRO-SUP. .	41
FIGURE 15 : DEUX IMAGES PRISES LORS D'UN MEME EXAMEN FLUOROSCOPIQUE CHEZ UN CHIEN PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL SEVERE (LA TRACHEE APPARAÏT COLLABEE SUR L'IMAGE DE DROITE (FLECHE)). SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	42
FIGURE 16 : TRACHEE NORMALE (A GAUCHE) ET TRACHEE PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL (A DROITE) VUES PAR TRACHEOSCOPIE. SERVICE DE MEDECINE, VETAGRO-SUP.	42
FIGURE 17 : RADIOGRAPHIE D'UNE HYPOPLASIE TRACHEALE. SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	44
FIGURE 18 : ARBRE DE DECISION FACE A UNE SUSPICION D'OBSTRUCTION DES VOIES AERIENNES.	45
FIGURE 19 : FORME NORMALE DE LA TRACHEE EN COUPE TRANSVERSALE (A), TRACHEE PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL (B) ET FORME DE LA TRACHEE SUITE A UNE CHONDROTOMIE TRACHEALE D'APRES SLATTER ET PETTIT, 1974.	49
FIGURE 20 : PROTHESE EXTRA-LUMINALE DEVELOPPEE PAR SCHILLER ET HOLMBERG EN 1964.....	52
FIGURE 21 : ENVELOPPES DES SERINGUES DANS LESQUELLES SONT REALISEES LES ANNEAUX EN POLYPROPYLENE (GAUCHE) ET ANNEAUX EN POLYPROPYLENE PERCES (DROITE), D'APRES HOBSON, 1976.	53
FIGURE 22 : FORME NORMALE DE LA TRACHEE EN COUPE TRANSVERSALE (A), TRACHEE PRESENTANT UN COLLAPSUS TRACHEAL (B) ET FORME DE LA TRACHEE SUITE A UNE CHONDROTOMIE TRACHEALE ET LA POSE D'ANNEAUX EXTRA-TRACHEAUX EN TEFLON D'APRES SLATTER ET PETTIT, 1974.	53
FIGURE 23 : ANNEAU EXTRA-TRACHEAL (A) REALISE A PARTIR DE LA CHAMBRE COMPTE-GOUTTE D'UN PERFUSEUR PAR GRAVITE (B), D'APRES AYRES ET HOMBERG, 1999.....	54

FIGURE 24 : PROTHESES MANUFACTUREES DE DIFFERENTES TAILLES. D'APRES NEW GENERATION DEVICES. <i>TRACHEAL RINGS</i>	54
FIGURE 25 : LES SERINGUES EN POLYPROPYLENE (A) SONT COUPEES (B) ET TROIS SPIRALES SONT ENSUITE CREEES (C) D'APRES FINGLAND, DEHOFF ET BIRCHARD, 1987.....	55
FIGURE 26 : STENT PALMAZ AUTOUR DU CATHETER D'ANGIOPLASTIE A BALLONNET (CC) D'APRES BRAZELL J.....	65
FIGURE 27 : STENT GIANTURCO Z D'APRES SUZUKI ET AL, 2006.	66
FIGURE 28 : STENT DUMON (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE NOVATECH) D'APRES NOVATECH. <i>TRACHEOBRONXANE™ DUMON®</i>	68
FIGURE 29 : UN STENT WALLSTENT PARTIELLEMENT COUVERT (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE BOSTON SCIENTIFIC) D'APRES BOSTON SCIENTIFIC. <i>WALLFLEX™ BILIARY RX STENTS</i>	70
FIGURE 30 : DEUX STENTS ULTRAFLEX™ COUVERT ET NON COUVERT (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE BOSTON SCIENTIFIC) D'APRES BOSTON SCIENTIFIC. <i>ULTRAFLEX TRACHEOBRONCHIAL UNCOVERED STENT SYSTEM</i>	72
FIGURE 31 : DEUX STENTS DYNAMIC™ (Y) (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE BOSTON SCIENTIFIC) D'APRES BOSTON SCIENTIFIC. <i>DYNAMIC™ (Y) STENT</i>	73
FIGURE 32 : UN STENT POLYFLEX™ (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE BOSTON SCIENTIFIC) D'APRES BOSTON SCIENTIFIC. <i>POLYFLEX™ AIRWAY STENT</i>	74
FIGURE 33 : STENT EN NITINOL (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE DEXTRONIX).....	76
FIGURE 34 : LA PROPRIETE DE SUPERELASTICITE DES STENTS EN NITINOL (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE SKWAZEL).....	78
FIGURE 35 : UN STENT AUTO-EXPANSIBLE DEPLOYE (HAUT DE L'IMAGE) ET LE MEME TYPE DE STENT COMPRIE (BAS DE L'IMAGE) (CC) D'APRES MULLER FC.....	79
FIGURE 36 : COURBE CONTRAINTE-DEFORMATION DU NITINOL D'APRES STOCKEL, PELTON ET DUERIG, 2003. ...	79
FIGURE 37 : CYCLE DE COMPRESSION DU STENT DANS LE SYSTEME DE LARGAGE, SON DEPLOIEMENT ET LES FORCES APPLIQUEES SUR LE STENT, D'APRES STOECKEL, PELTON ET DUERIG, 2003.....	80
FIGURE 38 : MARQUEURS RADIO OPAQUES SUR UN STENT (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE SKWAZEL).....	80
FIGURE 39 : VET STENT-TRACHEA® (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. <i>VET STENT-TRACHEA®</i>	81
FIGURE 40 : DUALITY VET STENT® (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. <i>DUALITY VET STENT®</i>	81
FIGURE 41 : DEXSTENT-NT® DE TROIS DIAMETRES DIFFERENTS (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE SKWAZEL) D'APRES SKWAZEL. <i>STENTS VETERINAIRES</i>	82
FIGURE 42 : STENT EN NITINOL CONIQUE (DEXSTENT-TC®) (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE SKWAZEL) D'APRES SKWAZEL. <i>STENTS VETERINAIRES</i>	82
FIGURE 43 : DISPOSITIF DE LARGAGE DU DEXSTENT-NT®. A GAUCHE LE STENT EST ENTIEREMENT INSERE DANS LE DISPOSITIF, A DROITE, IL EST EN PARTIE EXTERIORISE (IMAGES REPRODUITES AVEC L'AUTORISATION DE DEXTRONIX).....	83
FIGURE 44 : DISPOSITIF DE LARGAGE DE L'ULTRAFLEX® (A GAUCHE) ET DU DEXSTENT-NT® (A DROITE) (IMAGES REPRODUITE AVEC LES AUTORISATIONS DE BOSTON SCIENTIFIC ET DE DEXTRONIX) D'APRES BOSTON SCIENTIFIC. <i>ULTRAFLEX TRACHEOBRONCHIAL UNCOVERED STENT SYSTEM</i>	83
FIGURE 45 : EXTREMITE DISTALE DU DISPOSITIF DE LARGAGE DU DEXSTENT-NT®. SUR L'IMAGE DU HAUT, LE STENT EST ENTIEREMENT INSERE DANS LE DISPOSITIF, SUR LES DEUX IMAGES DU BAS, IL EST EN PARTIE EXTERIORISE PAR LE RETRAIT DE LA GAINE EXTERNE (IMAGES REPRODUITES AVEC L'AUTORISATION DE DEXTRONIX).....	84
FIGURE 46 : VUE ENDOSCOPIQUE DE L'EXTREMITE DISTALE DU DISPOSITIF DE LARGAGE DU STENT AU SEIN DE LA TRACHEE. SERVICE DE MEDECINE, VETAGRO-SUP.....	84

FIGURE 47 : DEPLOIEMENT DU STENT (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. <i>VET STENT-TRACHEA</i> ®.	85
FIGURE 48 : STENT EN NITINOL EN PLACE AU SEIN DE LA TRACHEE (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. <i>VET STENT-TRACHEA</i> ®.	86
FIGURE 49 : TRACHEOSCOPIE MONTRANT UN STENT EN PLACE AU SEIN DE LA TRACHEE. SERVICE DE MEDECINE, VETAGRO-SUP.	86
FIGURE 50 : RADIOGRAPHIES DE CONTROLE SUITE A LA POSE D'UN STENT TRACHEAL. SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	86
FIGURE 51 : RADIOGRAPHIE D'UN CHIEN DONT LE STENT TRACHEAL EST DEFORME ET FRACTURE AU NIVEAU DE L'ENTREE DU THORAX. SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	90
FIGURE 52 : RADIOGRAPHIES D'UN CHIEN SUITE A LA POSE D'UN DEUXIEME STENT TRACHEAL AU SEIN DU PREMIER (VUE LATERALE DROITE (IMAGE DE GAUCHE) ET VUE VENTRO-DORSALE (IMAGE DE DROITE). SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	92
FIGURE 53 : KIT DE CALIBRAGE DES STENT (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. KIT DE CALIBRAGE.	98
FIGURE 54 : MISE EN PLACE DU KIT DE CALIBRAGE RADIO OPAQUE DANS L'ŒSOPHAGE (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. <i>VET STENT-TRACHEA</i> ®.	99
FIGURE 55 : RADIOGRAPHIE D'UN CHIEN AVEC LE KIT DE CALIBRAGE DES STENTS INSERE DANS L'ŒSOPHAGE AVANT LA POSE D'UN STENT (GAUCHE) (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE DEXTRONIX) ET APRES LA POSE D'UN STENT (DROITE). SERVICE D'IMAGERIE MEDICALE, VETAGRO-SUP.	99

Table des tableaux

TABLEAU I : DIAGNOSTIC DIFFERENTIEL D'UNE TOUX CHRONIQUE, D'APRES BULLIOT ET HEBERT, 2014.	44
TABLEAU II : PRINCIPALES MOLECULES UTILISEES LORS DU TRAITEMENT MEDICAL DU COLLAPSUS TRACHEAL, D'APRES JERRAM ET FOSSUM, 1997 ; REYNIER ET HERNANDEZ, 2008.	48
TABLEAU III : COEFFICIENT MULTIPLICATEUR A APPLIQUER AU DIAMETRE TRACHEAL MAXIMAL MESURE AFIN DE CHOISIR LE DIAMETRE DU STENT, SELON LES AUTEURS.	102
TABLEAU IV : EXEMPLE DE TABLEAU DE RACCOURCISSEMENT D'UN VETSTENT TRACHEA® DE 8 MM DE DIAMETRE (IMAGE REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION D'INFINITI MEDICAL, LLC, REDWOOD CITY, CA, USA) D'APRES INFINITI MEDICAL. VET STENT-TRACHEA®	103

Liste des abréviations

BMP-2 : Protéine 2 morphogénétique des os

EF75 : Débit expiratoire à l'end tidal + 75% du volume à l'end tidal

IF75 : Débit inspiratoire à l'end tidal + 75% du volume à l'end tidal

TE : Temps d'inspiration

TI : Temps d'expiration

TTOL : Temps total de respiration

Vet : Vétérinaires traitants

I. Introduction et généralités

A. Définition du collapsus trachéal

Le collapsus trachéal (ou trachéomalacie) est une maladie évolutive caractérisée par un aplatissement dorso-ventral de la trachée ainsi qu'un relâchement de la membrane trachéale dorsale. La forme de la trachée change et la section transversale devient ovoïde ou elliptique. La membrane dorsale peut faire protrusion dans la lumière de la trachée, le tout entraînant une diminution de sa lumière (AMIS, 1974).

Rarement décrite chez le chat (MIMS et al, 2008), nous allons nous intéresser à cette pathologie chez le chien.

B. Généralités

La première description de cette pathologie a été faite en 1941 par Baumann et la première étude portant sur 29 cas, a été publiée en 1966 par O'Brien et son équipe.

Le collapsus trachéal touche principalement les **petites races** ainsi que les races miniatures et toys. L'âge d'apparition est variable avec une moyenne entre **6 et 8 ans** mais de jeunes chiens peuvent aussi être concernés. Il n'existe cependant pas de prédisposition de sexe.

Cette pathologie se manifeste notamment par des **quintes de toux sèche et sonore** ainsi qu'une **intolérance à l'effort** complétées dans les cas plus sévères par **une dyspnée** voire une **cyanose**. Les animaux présentent souvent des antécédents de toux chronique (les signes étant apparus des semaines ou des mois avant la consultation).

Une prise en charge d'**urgence** est parfois nécessaire et sera suivie d'une prise en charge **médicale ou chirurgicale** dans les cas sévères ou réfractaires au traitement médical.

C. Importance

La prévalence du collapsus trachéal est de 0,5 % (sur les 2 780 chiens étudiés en 2 ans au Queensland). Elle est de 2,7% chez les petites races (AMIS, 1974).

II. Eléments anatomiques, structuraux, étiologiques et physiopathologiques des collapsus trachéaux

A. Anatomie

La trachée est un tube semi-rigide constitué d'**anneaux trachéaux** (fig. 1) composés de **cartilage** hyalin en forme de « C ». Les extrémités de ce « C » sont reliées par du **tissu conjonctif fibro-élastique et des fibres musculaires lisses** (la membrane trachéale) (fig. 2) (AMIS, 1974 ; BARONNE, 1997). Les anneaux sont reliés entre eux par des **ligaments inter-annulaires** (fig.3).

Une étude sur l'anatomie de la trachée des chiens (DABANOGLU, OCAL et KARA, 2000) révèle que la trachée a une **forme quasi circulaire** sur toute sa longueur. Elle comporte entre 36 et 45 anneaux trachéaux répartis en moyenne en 12 anneaux dans les trachées crâniale, moyenne et intra thoracique et 9 anneaux au niveau de l'entrée du thorax.

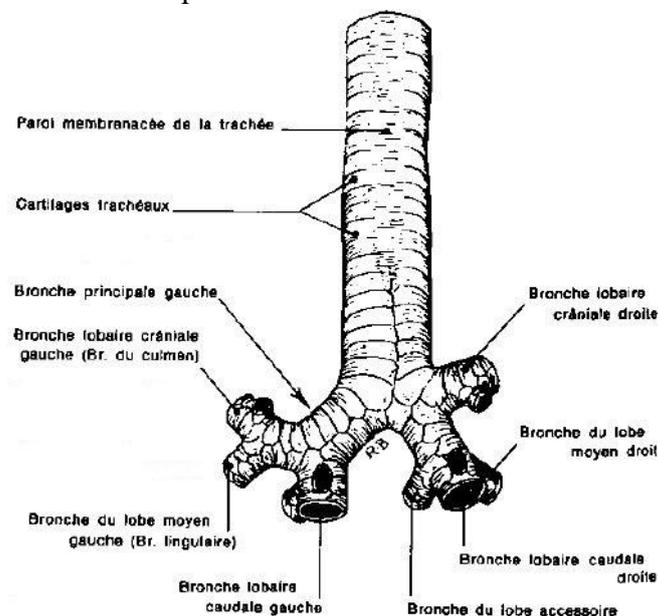


Figure 1 : Anatomie de la trachée du chien : portion terminale et bronches souches, d'après BARONNE, 1997.

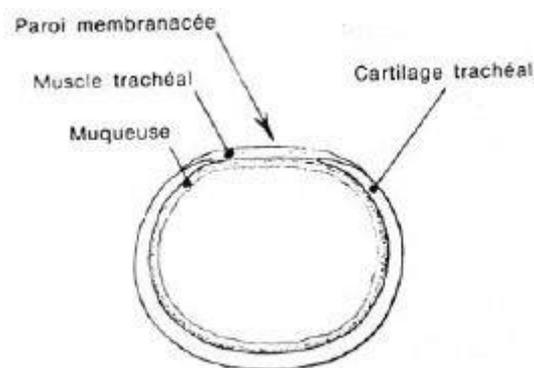


Figure 2 : Coupe transversale de trachée d'un chien prélevée en région cervicale, d'après BARONNE, 1997.

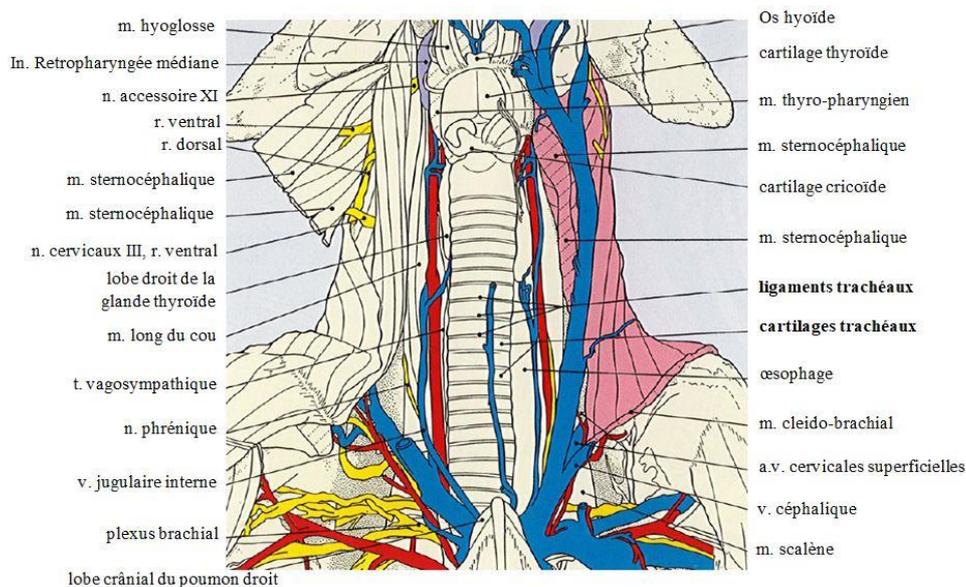


Figure 3 : Place de la trachée au sein des structures du cou du chien, d'après DONE SH. et al., 2009.

Le nombre d'anneaux trachéaux est assez variable (entre 30 et 40 selon DONE et DREWT (1976)). Une fusion des anneaux trachéaux est possible notamment au niveau de la trachée cervicale crâniale et de l'entrée du thorax. Le diamètre et l'épaisseur de ces anneaux sont diminués à l'entrée du thorax, zone dans laquelle la trachée change de direction et est en contact avec des éléments osseux (section transversale de la lumière de 6 à 7% plus petite).

B. Histologie

Les anneaux cartilagineux sont intégrés dans la muqueuse trachéale. De la lumière trachéale vers la périphérie, la muqueuse comprend (fig. 4 et 5) :

- **Un épithélium respiratoire trachéal** pseudo-stratifié cylindrique pavimenteux. Les **cellules épithéliales** ont un pôle apical cilié. Des **cellules basales et à mucus** ou caliciformes (sécrétant de la mucine dans la lumière) sont présentes entre les cellules épithéliales. Cette population cellulaire est complétée par des **cellules de Clara** (sécrétantes), des **cellules en brosses et neuroendocrines** en plus faible proportion (10%).
- **Un chorion** qui est un tissu **conjonctif vascularisé** contenant des **glandes** tubulo-acineuses séreuses et muqueuses assurant la lubrification de l'épithélium ainsi que des cellules de défense de l'organisme (éosinophiles et lymphocytes).
- **Une sous muqueuse** qui est un tissu **conjonctif vascularisé**.

- **Un adventice** qui est un tissu **conjonctif** contenant un **anneau cartilagineux**. Le muscle trachéal reliant ses deux extrémités est composé d'élastine et de fibres de collagène (SAMUELSON DON A., 2006).

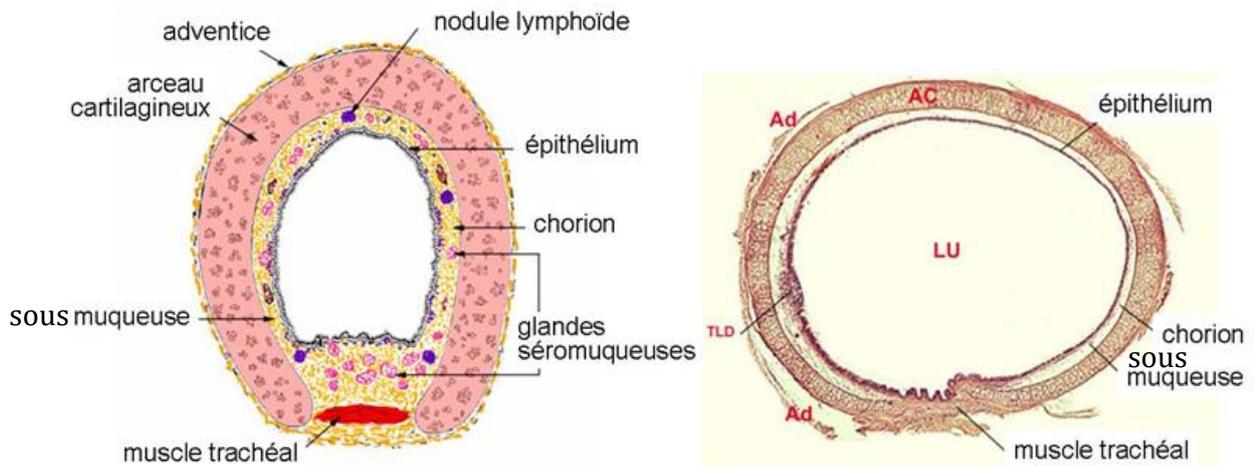


Figure 4 : Schéma d'une coupe transverse de trachée de chien (image de gauche), coupe histologique transverse de trachée de chien (image de droite). Légendes : Ad=adventice, AC= arceau cartilagineux, TLD=Tissu lymphoïde diffus, LU= lumière de la trachée. Service d'Anatomie Pathologie, VetAgro-Sup.

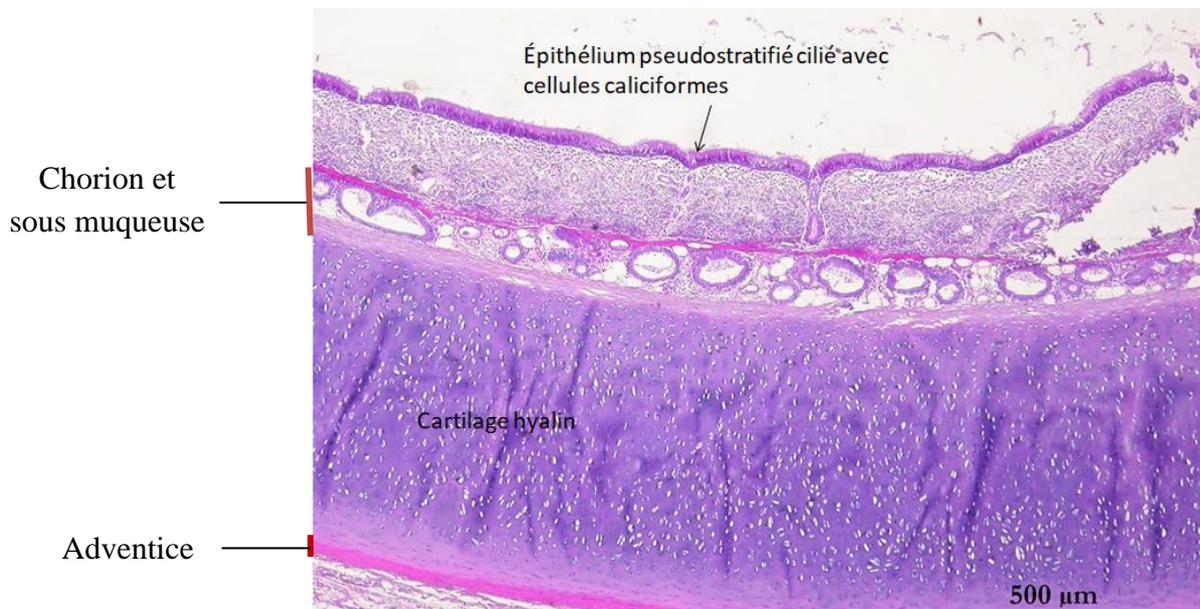


Figure 5 : Coupe histologique d'une trachée de chien. Service d'Anatomie Pathologie, VetAgro-Sup.

C. Etiologie

L'étiologie précise du collapsus demeure **incertaine**. Il est supposé que les causes de trachéomalacie sont primaires et secondaires.

1. Facteurs prédisposants

Il existe des facteurs **primaires, prédisposants** au collapsus trachéal, en effet, 25% des cas de collapsus trachéal concernent les chiens **dès l'âge de 6 mois** (origine congénitale) (DONE et DREWT, 1976).

Une étude sur des souris mutées, homozygotes sur un gène récessif de chondrodysplasie (cho), révèle une trachée plus flaccide ainsi qu'une lumière trachéale diminuée. La teneur en acide mucopolysaccharique de la matrice extra cellulaire trachéale est réduite et les fibres de collagène sont plus fines. Cette étude met en évidence une **hypothèse génétique** à la déformation des anneaux trachéaux conduisant au collapsus trachéal (SEEGMILLER, 1972).

Une hypothèse de **diminution d'innervation** de la membrane trachéale entraînant sa flaccidité a été évoquée mais **non prouvée** par HOBSON en 1976 et DALLMAN, McCLURE et BROWN en 1988. En 1998, YAMAMOTO et son équipe ont révélé une structure complexe du plexus péritrachéal chez le chien et confirmé un rôle possible de ce plexus dans la pathogénie du collapsus trachéal.

2. Facteurs déclenchants et aggravants

Des facteurs **secondaires** conduisent à une **inflammation chronique** des voies respiratoires chez des chiens d'âge moyen à avancé.

Ces facteurs **déclenchant et aggravant** le collapsus tels qu'une infection de l'appareil respiratoire, une bronchite chronique, une paralysie laryngée, une pathologie respiratoire induisant une toux chronique, l'inhalation de substances irritantes (fumées, poussières) ou un traumatisme trachéal suite à une intubation semblent **entraîner l'épisode clinique chez les chiens dont le cartilage trachéal a dégénéré** (MAGGIORE, 2014).

Le **surpoids et l'obésité** sont également impliqués : 74,2% des chiens de l'étude de MACREADY, JOHNSON et POLLARD en 2007 avaient une note d'état corporel supérieure à 4/5 sur 9. L'obésité, au niveau thoracique, va entraîner une augmentation des efforts respiratoires ainsi qu'une diminution de la dilatation pulmonaire (JOHNSON 2000).

La toux peut enfin être exacerbée par l'exercice, l'excitation, le stress et la prise de boisson ou de nourriture (BEAL, 2013; TAPPIN, 2016; AMIS, 1974).

D. Physiopathologie et éléments lésionnels

1. Les modifications histologiques et structurales

Lors du collapsus trachéal, il se produit une **dégénérescence de la matrice** de certains *cartilages trachéaux* qui apparaissent moins homogènes. La **réduction des glycosaminoglycanes, des chondroïtines sulfates, des chondrocytes et du calcium** au sein de la matrice de ces cartilages semble entraîner une diminution de leur rigidité.

En effet, le manque de ces composants rend le cartilage **moins apte à retenir l'eau** (DALLMAN, McCLURE et BROWN, 1988). Les anneaux trachéaux concernés sont alors déformés et la trachée a une **forme plus ou moins ovoïde** à leur niveau. Elle est aplatie **dorso-ventralement** dans la majorité des cas. Il existe cependant des collapsus latéraux dans lesquels seuls les anneaux trachéaux sont déformés (BINNINGTON et KREPLIN, 1977).

Au sein de la *membrane trachéale*, une **perte de tissu conjonctif et de fibres musculaires lisses** est mise en évidence par DONE et DREWET en 1976 et entraîne une modification de celle-ci : elle **s'affine et s'allonge**. Elle est alors plus **flaccide** et faisant protrusion dans la lumière trachéale, elle participe à son **obstruction** et à une **stabilité diminuée** des anneaux cartilagineux (DALLMAN, McCLURE et BROWN, 1988) (fig. 6).

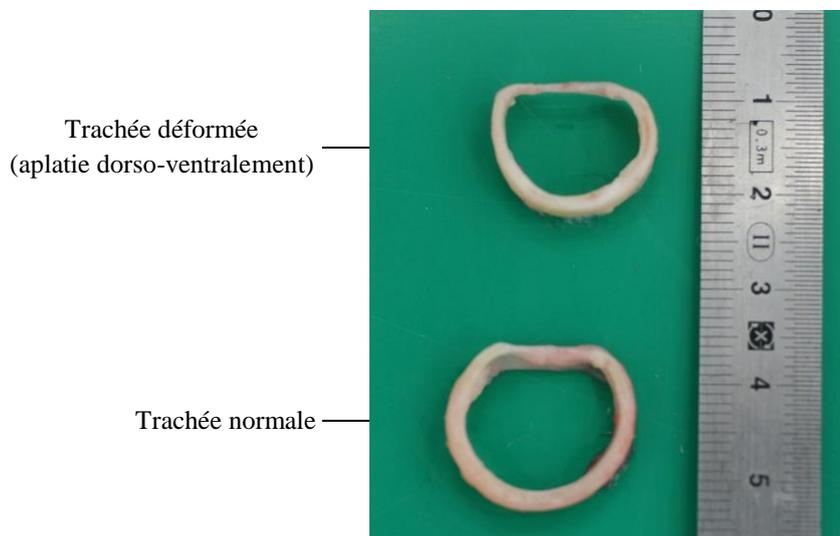


Figure 6 : Coupes de trachées d'un chien présentant un collapsus trachéal et d'un chien normal, Service de Médecine, VetAgro-Sup.

La *muqueuse* des zones affectées peut présenter un **épithélium respiratoire modifié** (diminution du nombre de cellules caliciformes, épithélium stratifié ou cubique). Les glandes à mucus sont moins présentes mais sont **hypersécrétantes et souvent dilatées** par des sécrétions muqueuses. La sous-muqueuse contient également plus de fibroblastes.

Dans les zones trachéales qui ne semblent pas affectées, il y a de nombreuses glandes à mucus hypersécrétantes et parfois des kystes épithéliaux suite à l'obstruction d'une glande par du mucus.

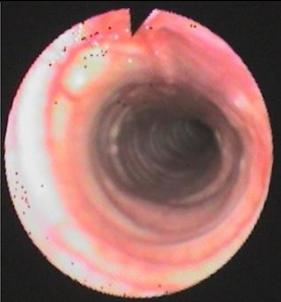
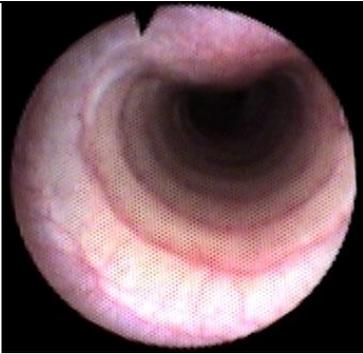
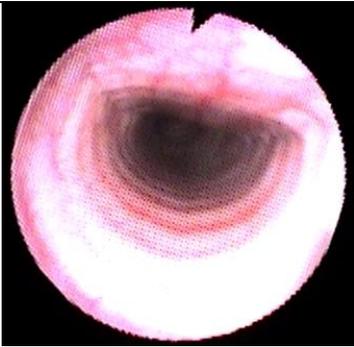
Dans la sous-muqueuse, les vaisseaux sanguins sont **congestionnés** et les vaisseaux lymphatiques **dilatés**. Des ulcérations peuvent être visibles.

Une **inflammation** de la muqueuse (œdème) est présente ainsi qu'une production accrue de mucus. Cette inflammation est souvent étendue aux poumons (DONE et DREWTT, 1976).

Selon une étude de JOHNSON et FALES, en 2001, sur 37 chiens, le collapsus s'étend sur l'**ensemble** de la trachée dans 46% des cas, sur la région **cervicale** dans 35% des cas et sur la région **thoracique et/ou les bronches** principales dans les 19% restants.

2. Les différents grades du collapsus trachéal

En 1982, TANGNER et HOBSON ont mis en place différents **grades** afin de caractériser les collapsus trachéaux (fig. 7). La détermination du grade se réalise via une **trachéoscopie** en observant la totalité de la trachée et les bronches souches au cours de l'inspiration. La fonction laryngée est également à évaluer.

 <p>Trachée normale</p>	
 <p>Grade 1</p>	 <p>Grade 2</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Trachée presque normale - Forme circulaire des anneaux trachéaux - Protrusion légère de la membrane trachéale au sein de la lumière - Lumière réduite d'environ 25% 	<ul style="list-style-type: none"> - Cartilage trachéal partiellement aplati - Protrusion franche de la membrane trachéale au sein de la lumière - Lumière réduite d'environ 50%

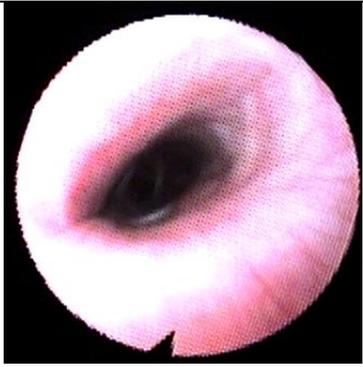
 <p style="text-align: center;">Grade 3</p>	 <p style="text-align: center;">Grade 4 (présence d'une sonde endo-trachéale)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Le cartilage trachéal est presque plat (palpation possible des extrémités) - La membrane trachéale est quasi au contact de la muqueuse ventrale - Lumière réduite d'environ 75% 	<ul style="list-style-type: none"> - Le cartilage trachéal est plat et peut parfois s'inverser - La membrane trachéale repose sur la muqueuse ventrale - Lumière en majorité oblitérée

Figure 7 : Différents grades de collapsus trachéal et leurs caractéristiques. Service de Médecine, VetAgro-Sup.

3. Conséquences des modifications structurales au cours de la respiration

i. Pressions exercées sur la trachée chez un chien sain

La trachée **cervicale** est soumise à la pression **atmosphérique** tandis que la trachée **intra-thoracique** est soumise à la pression **intra pleurale**.

Au cours des différentes phases de la respiration, il semble y avoir des **variations de diamètre de la trachée** (jusqu'à 24% de différence entre l'inspiration et l'expiration) chez certains chiens, liées entre autre à une invagination de la membrane trachéale (LEONARD et al, 2009). Cependant la trachée **reste cylindrique** au cours d'une respiration normale (DALLMAN, McCLURE et BROWN, 1988). La membrane trachéale contribue en partie à la tenue des anneaux cartilagineux dans leur forme initiale au cours des différentes phases de la respiration (HAKANSSON et TORELMALM, 1968).

ii. Modifications lors du collapsus trachéal

Lors d'un collapsus trachéal, les mouvements respiratoires **normaux**, sans différences de pression excessives, entraînent un collapsus.

C'est un phénomène **actif** :

- Lorsque la flaccidité touche la **trachée extra-thoracique**, la diminution de diamètre aura lieu à **l'inspiration** (fig. 8). En effet, durant l'inspiration, la pression intrapleurale devient négative et maintient le diamètre trachéal intrathoracique à son maximum alors que la pression dans la lumière au niveau cervical devient négative causant le collapsus.

- A l'inverse, lorsqu'elle concerne la **trachée intrathoracique**, celle-ci sera obstruée lors de l'**expiration** (fig. 9). Durant l'expiration, la pression intra pleurale devient positive, cela crée un gradient de pression au sein de la trachée qui provoque alors un collapsus intrathoracique (SUN et al, 2007).

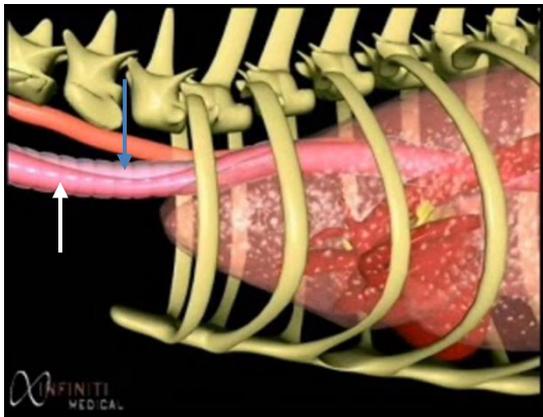


Figure 8 : Collapsus extra-thoracique en inspiration
(images reproduites avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical.
Vet Stent-Trachea®.

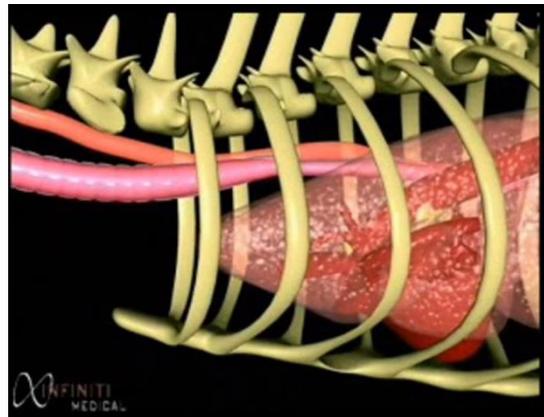


Figure 9 : Collapsus intrathoracique en expiration
(images reproduites avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical.
Vet Stent-Trachea®.

Remarque concernant les figures 8 et 9 : La trachée, en l'absence de collapsus, est représentée par le tube blanc annelé (flèche bleue). Le tube rose clair (flèche blanche) représente l'ensemble de la trachée qui est flaccide lors d'un collapsus trachéal.

4. Perturbation de l'ascenseur muco-ciliaire

L'**ascenseur muco-ciliaire** est un ensemble de structures participant à la **clairance muco-ciliaire**, c'est-à-dire à la remontée de mucus et de particules en direction du nasopharynx ou de l'extérieur. Ce mucus est ensuite **expectoré ou dégluti**. Les particules sont piégées au sein du mucus muqueux et les cils des cellules ciliées entraînent par leur mouvement au sein du mucus séreux une remontée de ces particules. Les contractions de la membrane trachéale participent à cette clairance (DALLMAN, McCLURE et BROWN, 1988).

La stimulation, par des éléments irritants, de **récepteurs sensibles** au sein de l'arbre respiratoire conduit au mécanisme de toux. Celle-ci va permettre une **épuration rapide et discontinue** des voies aériennes en cas d'hypersécrétion bronchique.

Lors de collapsus trachéal, il se produit un **changement de forme de la lumière, une inflammation ainsi qu'un œdème** au sein de la trachée et la membrane trachéale est parfois plus **flaccide**. Ces éléments entraînent une modification du fonctionnement de l'appareil muco-ciliaire d'où une accumulation de mucus trachéal et l'apparition d'une **toux** qui devient alors le **principal élément entraînant l'expectoration du mucus** au sein de l'appareil respiratoire (WHITE et WILLIAMS, 1994).

Il y a alors mise en place d'un **cercle vicieux** (fig. 10) car la toux va aggraver l'inflammation, les lésions ainsi que la production de mucus et participer à la déformation trachéale.



Figure 10 : Cercle vicieux du collapsus trachéal

Conclusion partielle :

Des **facteurs primaires** conduisent à une diminution de la rigidité des cartilages trachéaux qui s'aplatissent ainsi qu'à une flaccidité augmentée de la membrane trachéale qui fait alors protrusion au sein de la lumière trachéale. Ces deux entités mènent à une **obstruction** plus ou moins avancée de la trachée classable selon **4 grades** (de l'obstruction légère à l'obstruction totale). Des **facteurs secondaires** tels que l'inhalation de substances irritantes, l'excitation ou la prise alimentaire par exemple vont participer au **déclenchement et à l'aggravation** des signes cliniques. La **toux**, dominant le tableau clinique, initie un **cercle vicieux** qu'il sera nécessaire de **rompre** lors de la prise en charge thérapeutique.

III. Aspects cliniques des collapsus trachéaux

A. Commémoratifs

Le collapsus trachéal touche principalement **les petites races** ainsi que les races **miniatures et toys** (yorkshire terrier, loulou de Poméranie, carlin, caniche bichon maltais, chihuahua, ...). Elle touche rarement les chiens de grande race et les chats.

Les individus touchés ont un **âge moyen à élevé** mais de **jeunes** chiens peuvent être concernés (25% ont des signes cliniques dès 6 mois) (HERRTAGE, 2008). Il n'existe pas de prédisposition de sexe.

B. Anamnèse et symptomatologie

Les animaux sont présentés en consultation pour des **difficultés respiratoires** : quintes de toux, toux paroxystiques, intolérance à l'effort, dyspnée, cyanose. Ces signes peuvent être apparus brutalement ou des semaines ou des mois avant la consultation (MAGGIORE, 2014).

Les **signes cliniques majeurs** sont la toux au début puis une dyspnée inspiratoire ou expiratoire, un stridor et une syncope possible liée à l'asphyxie. Le collapsus trachéal peut être une **urgence médicale ou chirurgicale** lors d'obstruction sub-totale à totale de la trachée.

Caractéristiques de la toux :

La toux est **sèche, sévère, bruyante**, semblable à un **coup de klaxon**.

Les animaux présentent souvent des antécédents de **toux chronique**. Comme évoqué précédemment (cf. supra II.C.2), de nombreux facteurs déclenchant et/ou aggravant la toux peuvent être mis en évidence comme l'excitation, l'exercice, le stress, la chaleur, une atmosphère chaude et humide, une maladie concomitante (pneumonie, obésité, ...), la prise de boisson ou d'aliments ou l'inhalation d'irritants (fumée, poussière) (MAGGIORE, 2014 ; TAPPIN, 2016 ; BEAL, 2013).

C. Pathologies associées et formes aggravées de collapsus trachéal

1. Un collapsus bronchial

Les **bronches principales** peuvent se collaber, leurs section devient alors aplatie. On parle également de **bronchomalacie**, la structure des bronches perd de sa rigidité (AMIS, 1974). Lorsque les deux entités sont touchées, on parle de trachéo-bronchomalacie. La bronchomalacie est présente dans 45 à 83% des cas de collapsus trachéal (JOHNSON et POLLARD, 2010).

2. Une bronchiectasie

Une étude de MAROLF, BLAIK et SPECHT (2006) montre que les animaux atteints de collapsus trachéaux sont souvent atteints de **maladie bronchique chronique** (dans 30% des cas) essentiellement au niveau des lobes pulmonaires crâniens.

3. Une maladie dentaire ou parodontale

Dans 40 à 61.3% des cas de collapsus trachéaux, une **maladie dentaire ou parodontale** est mise en évidence. Les bactéries proliférant dans la sphère oro-pharyngée lors de ces affections peuvent participer à une inflammation des voies respiratoires (JOHNSON, 2000 ; MACREADY, JOHNSON et POLLARD, 2007). On retrouve ces pathologies de façon préférentielle chez les petites races où elles sont alors un facteur aggravant.

4. Une obstruction laryngée

Cette affection est concomitante dans 20 à 30% des cas. La **diminution du flux d'air** pourrait être liée à une **anomalie d'innervation** du larynx (parésie ou paralysie laryngée) ou à une **chondromalacie des aryénoïdes ou de l'épiglotte**. Actuellement, dans la littérature, la cause n'a pas été identifiée. Cliniquement un stridor haut perché est audible à l'inspiration (TANGNER et HOBSON, 1982 ; HOBSON, 1976).

5. Une pathologie cardiaque

Une **pathologie cardiaque** est souvent décelée (de 19.4% à plus d'un tiers des cas). Elle peut se traduire par un **souffle cardiaque** systolique, souvent apexien gauche. Le plus souvent c'est une insuffisance mitrale chronique (JOHNSON, 2000; MACREADY, JOHNSON et POLLARD, 2007).

6. Une pathologie hépatique

Une étude de BAUER et al., en 2006, sur 26 chiens présentant un collapsus trachéal révèle une **augmentation d'au moins deux enzymes hépatiques** chez 46% des chiens. De plus, la mesure des **acides biliaires** (basaux puis 20 et 40 minutes après la vidange de la vésicule biliaire) est significativement **élevée** sur 24 des 26 chiens. Les mesures d'acides biliaires sont à nouveau dans les normes chez tous les chiens réévalués 58 jours après la pose d'une prothèse endo-luminale (12 chiens).

Synthèse :

Les **races petites à toys** sont essentiellement concernées par cette pathologie qui peut les toucher à **tout âge** . La **toux** liée au collapsus est sèche, sévère, semblable à un coup de klaxon, elle apparaît souvent par **quintes** . Les animaux peuvent présenter une **dyspnée, une intolérance à l'effort** selon le grade et les facteurs aggravants. Différentes maladies sont souvent présentes et sont **concomitantes ou aggravantes** du collapsus trachéal.

D. Diagnostic

1. Diagnostic Clinique

Après un **examen clinique général** visant à déterminer l'importance de la pathologie et le caractère d'urgence ainsi que les possibles pathologies concomitantes (cardiaques ou bronchite chronique par exemple), un examen rigoureux de **l'ensemble de l'appareil respiratoire** doit être effectué.

i. Inspection

En cas de collapsus trachéal, le chien présente des difficultés respiratoires. Lors de **dyspnée** , on s'intéresse tout d'abord à la couleur des muqueuses qui peuvent être cyanosées dans les cas sévères. L'animal peut également présenter un mouvement des ailes du nez ou un souffle labial.

L'étude de la **fréquence et de la courbe respiratoire** va ensuite nous renseigner sur le siège de l'affection. Lors de collapsus extra-thoracique, la dyspnée sera inspiratoire (on peut alors voir une forte contraction des muscles intercostaux qui se creusent à l'inspiration ainsi qu'une augmentation du temps inspiratoire), elle sera expiratoire (temps expiratoire allongé) lors d'un collapsus intra-thoracique ou mixte si le collapsus concerne une plus grande portion de la trachée.

La mise en évidence d'une **respiration discordante** (la variation des volumes thoraciques et abdominaux est asynchrone) nous alerte ici sur une obstruction sévère des voies respiratoires supérieures.

ii. Palpation

La **forme et le diamètre de la trachée sont modifiés et palpables** en fonction du grade de collapsus. Il est parfois possible de sentir, en portion cervicale, les **extrémités des anneaux** trachéaux latéralement ou en position inversée (ventralement) ainsi qu'une diminution de consistance de la trachée qui sera **plus souple** (TANGNER et HOBSON, 1982). La sensibilité trachéale est augmentée et la **flaccidité de la membrane trachéale** peut être sentie dans les cas sévères lors d'une palpation minutieuse de la trachée (AMIS, 1974).

Le **réflexe de toux** est présent et peut être induit par la palpation de la jonction laryngo-trachéale dans 70,8 % des cas selon MORITZ, SCHNEIDER et BAUER en 2004.

iii. Auscultation

Une attention particulière doit être donnée à la **toux** du chien qui sera souvent forte, sévère, sèche, par quintes et semblable à un coup de klaxon révélant une atteinte des voies respiratoires supérieures. Un **bruit de clapet** correspondant au choc de la membrane trachéale contre la face opposée de la trachée peut être entendu lors des affections sévères.

Une étude de YEON et son équipe, en 2004, réalisée sur 5 chiens révèle qu'il existe des caractéristiques particulières des sons produits lors de collapsus trachéal. **La durée, l'intensité et la fréquence du pic et des 4 premiers formants** de ce son sont différents d'un aboiement normal (en acoustique, un spectre qui est une courbe d'amplitude en fonction de la fréquence du son est formé d'un pic puis de différents formants correspondants à des zones de fréquence amplifiées d'un son).

L'auscultation au stéthoscope des champs pulmonaires et de la trachée peut révéler des **sifflements**, des sons **musicaux** ainsi qu'un **stridor**. L'auscultation pulmonaire peut être **normale** dans les cas non compliqués d'une affection pulmonaire mais elle peut être gênée par l'état d'embonpoint de l'animal et l'augmentation des bruits respiratoires. Des **claquements forts** sont souvent entendus lors de l'expiration (JOHNSON, 2000).

2. Diagnostic paraclinique

Différents **examens complémentaires** sont envisagés afin de préciser le diagnostic.

i. Mesure des volumes et débits respiratoires

PARDALI, ADAMANA-MORAITOU et RALLIS en 2010 ont étudié différentes valeurs respiratoires sur 28 chiens présentant un collapsus trachéal en les comparant à 10 chiens sains.

La forme de la **courbe du débit respiratoire en fonction du volume d'air** pendant la respiration, au repos, est différente entre un chien **sain** (la courbe est symétrique en inspiration et en expiration) et un chien présentant une **obstruction des voies respiratoires supérieures** (la courbe est aplatie et forme un plateau en inspiration) (fig. 11).

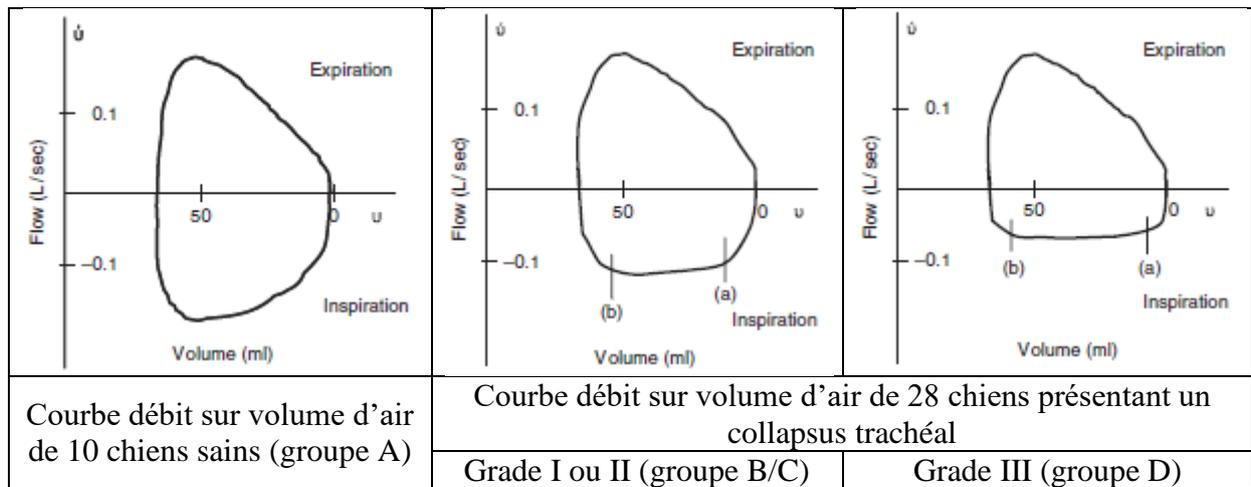


Figure 11 : Les différences entre les courbes de débit sur volume d'air entre des chiens sains et des chiens présentant un collapsus trachéal (a : début du plateau inspiratoire, b : fin du plateau inspiratoire). Extrait de PARDALI, ADAMANA-MORAITOU et RALLIS, 2010.

Cette mesure se réalise, sur un chien non anesthésié, grâce à un masque relié à un capteur de pression lui-même relié à un transducteur : **les pressions sont transformées en un signal électrique**. Il est alors possible de visualiser les courbes via un logiciel. Cette courbe différente en cas de collapsus peut alors permettre une évaluation initiale rapide de l'animal et est ensuite à compléter par d'autres méthodes diagnostiques.

De plus, chez les chiens malades, le rapport temps d'expiration sur temps d'inspiration (TE/TI) **diminue** alors que le rapport temps d'inspiration sur temps total de respiration (TI/TTOL) **augmente** significativement.

Enfin, la valeur d'un troisième ratio (EF75/IF75) permet le calcul des deux équations (F1 et F2) de la figure 12.

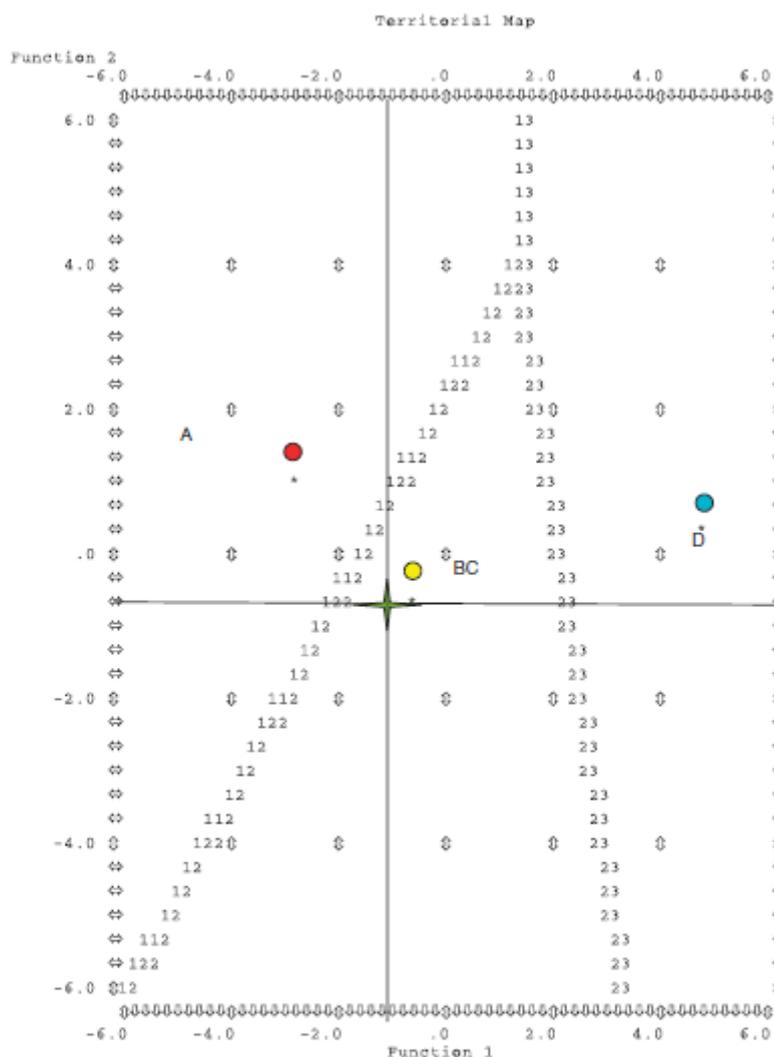
$$EF75/IF75 = \frac{\text{Débit expiratoire à l'end tidal} + 75\% \text{ du volume à l'end tidal}}{\text{Débit inspiratoire à l'end tidal} + 75\% \text{ du volume à l'end tidal}}$$

$$F1 = -21.685 + 4.037 \times (TE/TI) + 22.639 \times (TI/TTOL) + 2.906 \times (EF75/IF75)$$

$$F2 = -35.220 + 16.868 \times (TE/TI) + 32.842 \times (TI/TTOL) + 1.348 \times (EF75/IF75)$$

Figure 12 : Equations permettant le calcul de valeurs diagnostiques pour le collapsus trachéal et l'obtention de son grade, d'après PARDALI, ADAMANA-MORAITOU et RALLIS, 2010.

Le résultat de ces 2 équations, **reporté sur une carte territoriale** (fig. 13) mise en place par les auteurs permet d'obtenir un **diagnostic et le grade** du collapsus à 97.4%.



Graph 2. Territorial map of the 3 groups of healthy and with various stages of tracheal collapse dogs (A, BC, and D).
 Example: Dog no. 19; If the values of TI, TE, TTOL, EF75, and IF75 are known, the 2 equations can be calculated and
 $F1 = -21.685 + 4.037 \times (0.8325) + 22.639 \times (0.5456) + 2.906 \times (1.6124) = -1.2867$
 $F2 = -35.220 + 16.868 \times (0.8325) + 32.842 \times (0.5456) + 1.348 \times (1.6124) = -1.085$
 According to the results the location + of the dog into the territorial map may be seen.
 1, group A (10 healthy dogs); 2, group BC (20 dogs with grades I and II TC); 3, group D (8 dogs with grade III TC).
 ● Center of Group A.
 ● Center of group BC.
 ● Center of group D.

Figure 13 : Carte territoriale mise en place par PARDALI, ADAMANA-MORAITOU et RALLIS en 2010.

i. Radiographie

Des **radiographies cervicales et thoraciques** de face et de profil sont réalisées.

La radiographie permet de mettre en évidence une **diminution de diamètre** localisée en un endroit de la trachée ainsi qu’une possible **anomalie pulmonaire** (exemple en fig. 14). Elle est souvent réalisée en **première intention** du fait de sa rapidité. Classiquement, un collapsus trachéal est mis en évidence lors d’une réduction de **25%** de la lumière trachéale. Radiologiquement, la visualisation d’une bande d’opacité augmentée le long de la trachée dorsale n’est pas pathognomonique d’un collapsus trachéal (BYLICKI, JOHNSON et POLLARD, 2015).

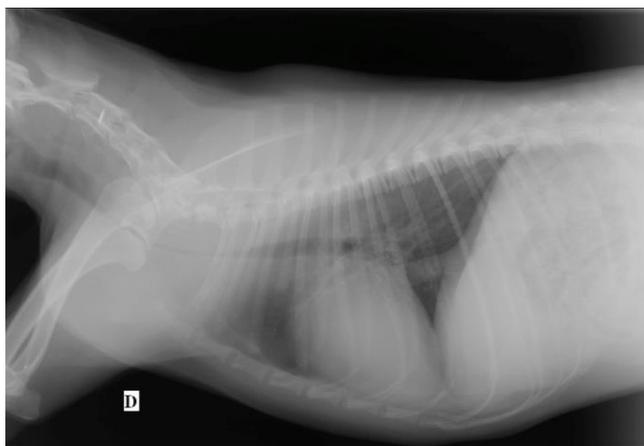


Figure 14 : Radiographie de profil d'une chienne caniche croisée yorkshire de 5 ans présentant un collapsus trachéal principalement extra thoracique. Service d'imagerie médicale VetAgro-Sup.

Cet examen complémentaire est **assez sensible** (détecté dans 84% des cas dans l'étude de WHITE et WILLIAMS, en 1994, sur 100 chiens) mais **peu spécifique** par rapport à la fluoroscopie ou la bronchoscopie. Une étude (JONHSON, SINGH et POLLARD, 2015) révèle que la sensibilité de la radiographie dans la détection du collapsus trachéal est de 70% par rapport à la trachéoscopie. Par rapport à la fluoroscopie, la radiographie **sous-estime** le grade des collapsus intra thoraciques (MACREADY, JOHNSON et POLLARD, 2007).

Il semble exister des **différences de diamètre de la trachée au cours de la respiration**, pouvant expliquer des diagnostics faussement positifs. Entre une inspiration forcée (15 cm H₂O) et une expiration « forcée » (induction d'une courte apnée), des variations allant de 18.6% à 24% du diamètre selon la localisation sur la trachée sont mises en évidence (LEONARD et al, 2009).

Le collapsus trachéal étant un processus dynamique, il est utile de réaliser **deux clichés de profil**, le premier lors d'une **inspiration maximale** et le second lors d'une **expiration**. Un cliché pris sans connaître la phase respiratoire pourra mener à un diagnostic faussement négatif.

Il est donc souvent indispensable de réaliser **d'autres examens complémentaires** afin de confirmer ou d'infirmer la suspicion de collapsus trachéal.

ii. Fluoroscopie

La **fluoroscopie** (ou radioscopie) est une technique **dynamique plus spécifique** que la radiographie et la trachéoscopie (87% selon JONHSON, SINGH et POLLARD en 2015) dans la détection du collapsus trachéal. Le diamètre de la trachée est visualisé dans son ensemble **au cours de toutes les phases de la respiration**. Le chien est placé en décubitus latéral droit par convention (exemple en fig. 15).

La réalisation d'un examen fluoroscopique **en déclenchant le réflexe de toux** chez le chien permet d'augmenter la **spécificité** de l'examen (87%) en induisant une augmentation de la pression intrathoracique (JONHSON, SINGH et POLLARD, 2015).

La fluoroscopie permet de détecter avec plus de fiabilité que la radiographie les collapsus intrathoraciques car les radiographies sont souvent prises durant la phase inspiratoire (MACREADY, JOHNSON et POLLARD, 2007). En comparaison, lors de radiographie, un collapsus est mis en évidence dans une zone incorrecte dans 44% des cas et n'est pas visualisé dans 8% des cas.

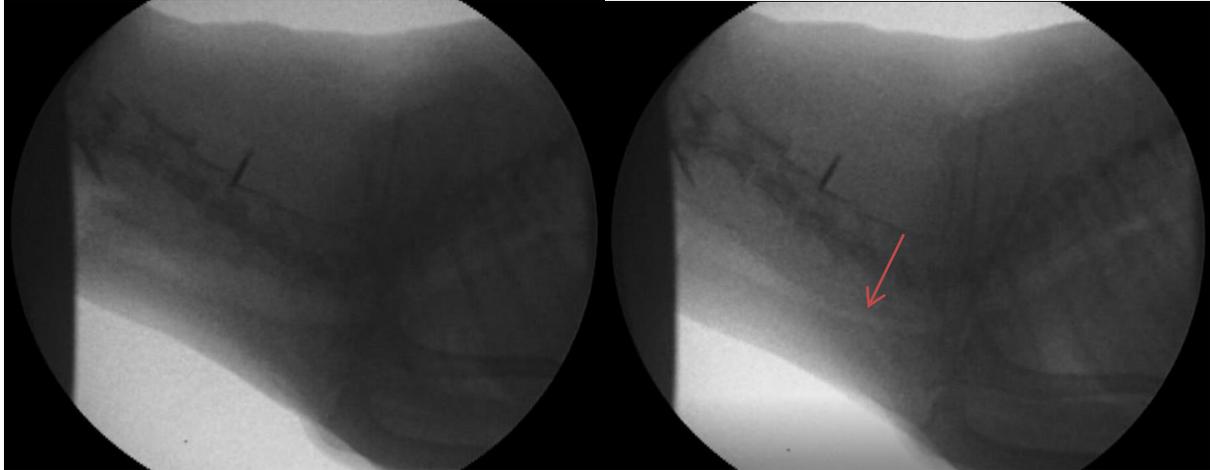


Figure 15 : Deux images prises lors d'un même examen fluoroscopique chez un chien présentant un collapsus trachéal sévère (la trachée apparaît collabée sur l'image de droite (flèche)). Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

iii. Trachéoscopie

La trachéoscopie sous anesthésie générale permet une **visualisation directe de la lumière trachéale** (fig. 16). Cet examen complémentaire apparaît comme l'un des plus fiables dans la détection d'un collapsus trachéal et il est souvent utilisé à la suite des examens décrits précédemment pour confirmer la suspicion de collapsus trachéal. Dans une étude de JOHNSON et POLLARD, en 2010, 73% des collapsus trachéaux détectés par trachéoscopie sont diagnostiqués par radiographie. Elle n'est cependant pas envisageable en urgence si le chien risque de ne pas supporter l'anesthésie (JOHNSON, SINGH et POLLARD, 2015).

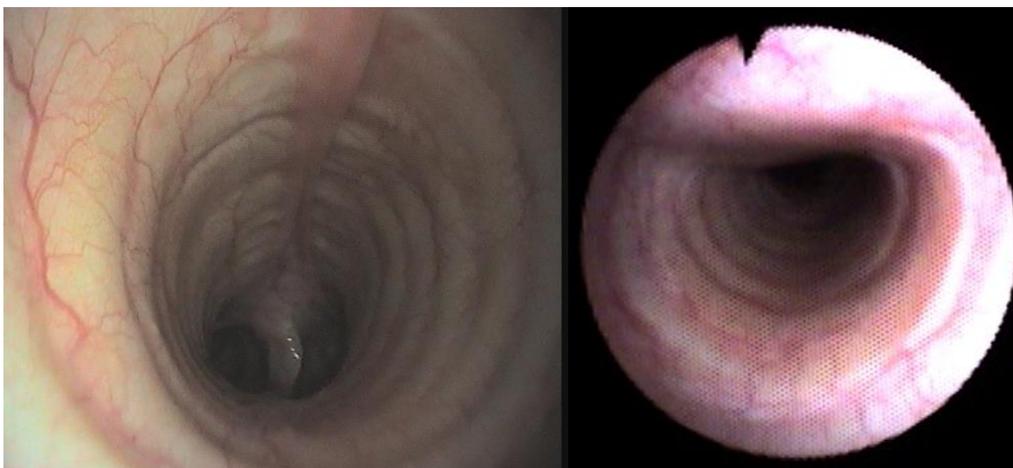


Figure 16 : Trachée normale (à gauche) et trachée présentant un collapsus trachéal (à droite) vues par trachéoscopie. Service de médecine, VetAgro-Sup.

iv. Tomodensitométrie

Une **reconstruction des structures en trois dimensions** peut être effectuée suite à l'examen tomodensitométrique (scanner) ce qui permet une visualisation générale des structures bien que les éléments obliques soient peu représentés.

Cependant, cet examen nécessite une **anesthésie générale** et lorsqu'un apport d'oxygène est indispensable, la présence de la **sonde endotrachéale** sur les images peut rendre difficile l'interprétation des clichés.

De plus, **plusieurs passages** sont nécessaires pour pouvoir produire une reconstruction en trois dimensions fiable (par la présence de nombreux artefacts et car la phase de respiration est inconnue). La détermination du **grade peut être modifiée** par rapport à la trachéoscopie (STADLER et al, 2011).

v. Echographie

Une **échographie** de la trachée peut être réalisée, la tête du chien est placée en position physiologique puis en hyper extension. Une étude réalisée par RUDORF, HERTAGE et WHITE (1997) montre un **changement significatif de la forme de la trachée**, en vue ventro-dorsale, lors de collapsus trachéal.

Le ratio (largeur de l'anneau trachéal de l'entrée de la poitrine) sur (largeur du premier anneau trachéal) est de 1.16 durant l'expiration et 1.13 durant l'inspiration. **Lors de collapsus trachéal, ce ratio est augmenté.**

L'échographie peut représenter une **aide au diagnostic**, les avantages principaux étant sa rapidité, la possibilité de la réaliser sur un animal non tranquilisé ou présentant des difficultés respiratoires. Il est cependant nécessaire que l'animal soit **calme et coopératif** (EOM et al, 2008).

3. Diagnostic différentiel

i. Pathologies à envisager lors de toux chronique

Lors de toux chronique, il est nécessaire d'envisager (tab. I) :

Tableau I : Diagnostic différentiel d'une toux chronique, d'après BULLIOT et HEBERT, 2014.

Origine inflammatoire	Pharyngite Amygdalite Trachéobronchite Bronchite chronique Bronchiectasie Pneumonie (bactérienne, virale, fongique) Granulome Abscess Fibrose pulmonaire chronique Hypertrophie des nœuds lymphatiques trachéobronchiques Collapsus trachéal
Origine néoplasique	Néoplasie primaire pulmonaire Néoplasie secondaire pulmonaire Médiastinale Trachéale Laryngée Costale Sternale Musculaire

ii. Autres pathologies trachéales

L'**hypoplasie trachéale** est une affection qui atteint notamment les races **brachycéphales**. C'est une affection **congénitale** qui se caractérise entre autre par une diminution du diamètre de l'ensemble de la trachée (fig. 17). Il s'agit d'un phénomène **passif**, le diamètre ne change pas au cours de la respiration (COYNE et FINGLAND, 1992).

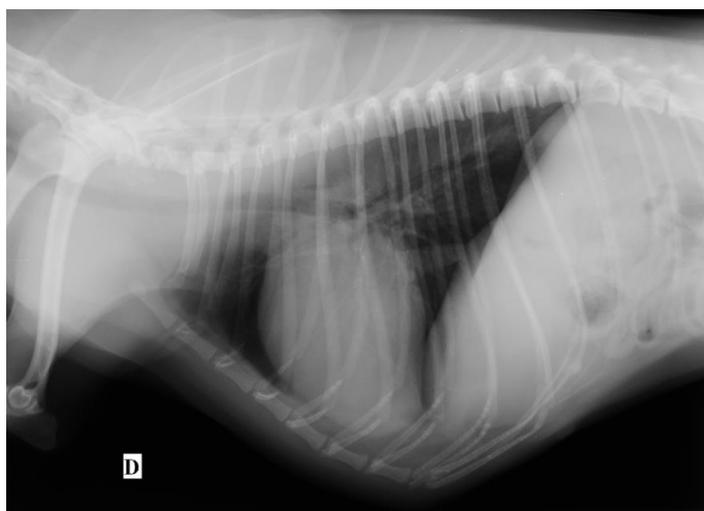


Figure 17 : Radiographie d'une hypoplasie trachéale. Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

La **sténose trachéale** post traumatique est une affection **peu fréquente** chez les carnivores domestiques par rapport à l'homme et correspond à une diminution symétrique de la taille de la lumière au niveau d'une seule portion de la trachée (STADLER et al, 2011).

Synthèse :

Le **diagnostic** du collapsus trachéal est tout d'abord **clinique** par la réalisation d'un examen **complet** de l'animal en insistant sur le système respiratoire. La **caractérisation de la toux (forte, sévère, sèche, par quintes et semblable à un coup de klaxon)** ainsi que celle de la **dyspnée (inspiratoire et/ou expiratoire)** nous orientent alors vers une hypothèse de collapsus trachéal et de sa localisation.

Plusieurs **examens** vont ensuite être réalisés (radiographie ou fluoroscopie et trachéoscopie, ou un scanner) pour aboutir au **diagnostic final**, la figure 18 présente un **arbre de décision** face à un cas d'obstruction des voies respiratoires.

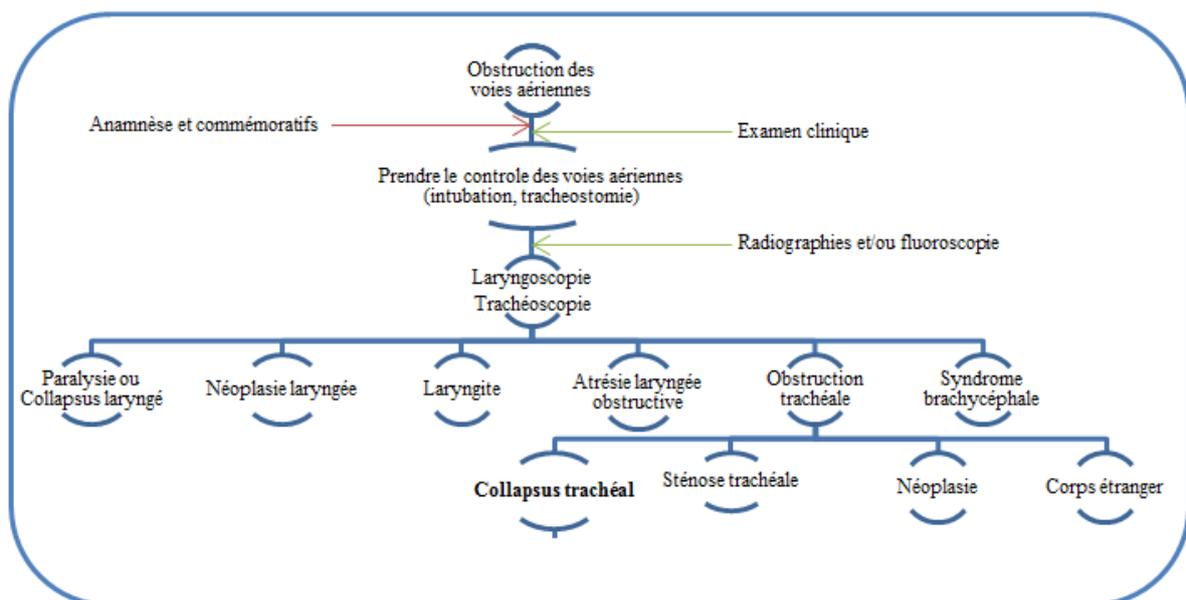


Figure 18 : Arbre de décision face à une suspicion d'obstruction des voies aériennes.

E. Pronostic

Le collapsus trachéal étant une affection **progressive**, il n'y a pas de guérison possible et le **traitement sera palliatif**. Le pronostic dépend du **grade** initial et de **l'âge** de l'animal au moment de la prise en charge, de sa **réponse** aux différents traitements entrepris. Il sera détaillé par la suite pour les différents traitements.

F. Traitements classiques

1. Médical

i. Traitement d'urgence

Il est indispensable de réaliser une **prise en charge d'urgence** en cas de détresse respiratoire, de cyanose ou de syncope. Pour cela, une **intubation ou une trachéotomie** vont permettre de prendre le contrôle des voies respiratoires. L'animal pourra ensuite être mis au calme sous **oxygénothérapie**.

Un traitement médical **tranquillisant et antitussif** à base de butorphanol et/ou d'acépromazine ou une sédation plus profonde à base de morphine et diazépam peuvent aussi être instaurés selon les cas.

Un **anti-inflammatoire stéroïdien** peut être utilisé lors de trachéite ou d'œdème laryngé (JERRAM et FOSSUM, 1997 ; JOHNSON, 2000).

Il est ensuite nécessaire d'établir un **diagnostic** afin d'envisager les possibilités thérapeutiques sur le long terme.

ii. Traitement des formes chroniques

Dans la majorité des cas de collapsus trachéal, un **traitement médical** est initié en première intention. Le but de ce traitement va être de **rompre le cercle vicieux physiopathologique du collapsus trachéal**. Selon une étude (WHITE et WILLIAMS, 1994), 71 % des animaux avec un collapsus trachéal ont pu être gérés au long terme (plus d'un an), en ne présentant pas de signes cliniques, uniquement avec un traitement médical approprié. Environ **les trois quarts** de cet effectif **ont pu être sevrés** en médicaments.

i) Mesures hygiéniques et prise en charge des pathologies concomitantes

Selon l'étude sur 100 chiens de WHITE et WILLIAMS, en 1994, 55% des animaux ont **une ou plusieurs maladies concomitantes ou facteurs secondaires aggravant ou déclenchant la pathologie**.

Il est donc important **d'identifier et de traiter** le surpoids, les affections dentaires et parodontales, les pathologies cardiaques et pulmonaires existantes.

Parmi les facteurs secondaires, **l'obésité ou le surpoids** sont à contrôler en priorité. La perte de poids est souvent délicate sur ces chiens présentant une intolérance à l'effort mais elle est à réaliser sur le **long terme** en conseillant une restriction calorique dans la ration et un exercice contrôlé.

L'utilisation d'un **harnais** à la place d'un collier va permettre de limiter les compressions trachéales et la toux.

Enfin, il est préférable de **limiter** au maximum **l'inhalation d'irritants** comme la poussière ou la fumée de cigarette ; **supprimer les courants d'air** ainsi que les sources d'acariens (les tapis par exemple). Les **fortes chaleurs sont à éviter** au maximum (WHITE et WILLIAMS, 1994; JERRAM et FOSSUM, 1997; JOHNSON, 2000).

ii) Médicaments

Un traitement à base d'**antitussifs** peut être suffisant dans les cas modérés. Il va permettre de diminuer l'irritation et les lésions épithéliales trachéales. Les **antitussifs opioïdes** (butorphanol, hydrocodone et codéine) sont les plus utilisés. Ils ont cependant des **effets secondaires** et il convient de réévaluer le traitement afin de donner la dose minimale efficace. Un sevrage peut être tenté au bout de quelques semaines de traitement.

Dans les cas plus sévères, une combinaison de **bronchodilatateurs et/ou d'anti-inflammatoires stéroïdiens et/ou d'antibiotiques** peut être mise en place.

Les **bronchodilatateurs** n'agissent pas directement sur la trachée mais entraînent une diminution de la pression intra-thoracique à l'expiration ainsi qu'une dilatation des voies respiratoires basses ce qui contribue à une diminution du gradient de pression dans l'arbre respiratoire. Ils présentent aussi un avantage pour les chiens atteints également de **bronchomalacie** (45 à 83% des cas de collapsus trachéal selon JOHNSON et POLLARD en 2010). Ils sont utilisés en cas d'efforts expiratoires et de collapsus intra-thoracique.

Les alcaloïdes de types **methylxanthine** sont utilisés en premier (théophylline) et les **agonistes des récepteurs β -adrénergiques** (terbutaline, salbutamol) sont utilisés en seconde intention si les effets secondaires sont trop importants ou en cas de non réponse au bout d'une à deux semaines.

Une cure d'**anti-inflammatoires stéroïdiens** (prednisolone, dexaméthasone) sur une courte période peut être envisagée en cas de trachéite ou d'œdème laryngé.

Des **antibiotiques** sont utilisés seulement en cas d'infection bactérienne (culture positive) et ils sont choisis en fonction du résultat d'un antibiogramme. Il est nécessaire de prendre garde à la contamination possible des prélèvements.

Les différentes molécules utilisables, leurs posologies et effets secondaires sont répertoriés dans le tableau II.

Tableau II : Principales molécules utilisées lors du traitement médical du collapsus trachéal, d'après JERRAM et FOSSUM, 1997 ; REYNIER et HERNANDEZ, 2008.

Classe thérapeutique	Molécules	Posologie	Spécialité vétérinaire	Spécialité humaine	Effets secondaires
Antitussifs	Butorphanol	0,5 mg/kg SC, IV, IM BID	Dolorex [®] Torbugesic [®]	/	Sédation, anorexie (rare)
	Hydrocodone	0,22 mg/kg PO BID	/	Dicodin LP [®]	Sédation, constipation, vomissement
	Codéïne	0,22 mg/kg PO BID	Bronchocanis [®]	Codedrill (sirop)	/
Broncho-dilatateurs	Théophylline	10-20 mg/kg PO BID	Sevpapulmil [®]	Dilatrane [®] Euphylline [®]	Stimulant du système nerveux central, irritations gastro-intestinales
	Terbutaline	1,25-5 mg/chien BID	/	Bricanyl [®] Terbutaline milan [®]	Stimulant du système nerveux central, irritations gastro-intestinales
	Salbutamol	50 µg/kg PO TID	/	Ventoline [®] Salbutamol [®]	Stimulant du système nerveux central, tremblements, tachycardie
Glucocorticoïdes	Prednisolone	0,1-1 mg/kg/j PO	Megasolone [®] Dermipred [®]	Solupred [®]	Halètement, prise de poids, polyurie-polydipsie
	Dexaméthasone	0,025-0,1mg/kg/j SC, IM, IV, PO	Dexadreson [®] Dexoral [®]	Dectancyl [®] Neofordex [®]	Halètement, prise de poids, polyurie-polydipsie
	Fluticasone	110 µg (un spray) localement en cas de crise	/	Flixotide [®]	/

PO : voie orale, SC : sous-cutané, IV : intra-veineux, IM : intra-musculaire, BID : 2 fois par jour

Bilan:

Le **traitement médical** consiste en une combinaison de **mesures hygiéniques** telles que le port d'un harnais, la gestion de l'excès pondéral ou l'éviction des substances irritantes et de **médicaments** (antitussifs en priorité). Il sera **efficace sur la majorité des chiens** présentant un collapsus trachéal.

Un **traitement chirurgical** sera par contre envisagé lorsque le traitement médical n'améliore pas suffisamment la qualité de vie de l'animal ou dans les cas très sévères.

2. Chirurgical

Selon, TANGNER et HOBSON en 1982, un traitement chirurgical peut être envisagé pour traiter un chien présentant un **collapsus de grade 2 à 4, réfractaire au traitement médical**. Son but est alors de rétablir le diamètre initial de la trachée.

i. La chondrotomie trachéale

Cette technique a été mise en place par Knowles et Snyder en 1967 et ensuite modifiée par LEONARD en 1971.

i) Description

Knowles et Snyder ont envisagé la **section de l'ensemble des anneaux trachéaux en leur centre, au niveau de la trachée ventrale**. Cette section entraîne une contraction de la membrane trachéale en face dorsale. La **lumière** de forme elliptique en cas de collapsus trachéal prend alors une **forme triangulaire** (fig. 19) (LEONARD, 1971). La modification de LEONARD, en 1971, consistait en l'incision d'un anneau sur deux sur la face ventrale.

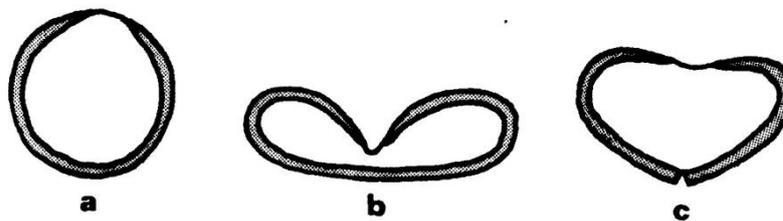


Figure 19 : Forme normale de la trachée en coupe transversale (a), trachée présentant un collapsus trachéal (b) et forme de la trachée suite à une chondrotomie trachéale d'après SLATTER et PETTIT, 1974.

ii) Avantages

Cette technique est assez **simple** à réaliser au niveau de la trachée extra-thoracique. Elle a permis une amélioration clinique pour 7 chiens opérés par LEONARD en 1971. HOBSON, en 1976, envisageait cette chirurgie avant la pose d'anneaux extra-trachéaux lorsque les anneaux cartilagineux du chien sont très remaniés. La chondrotomie permet alors de redonner une **forme quasi circulaire** à la trachée.

iii) Inconvénients

La chondrotomie semble cependant **inefficace** lorsque les cartilages trachéaux ne sont **pas suffisamment rigides**, elle peut alors entraîner un collapsus trachéal **latéral** et de nouvelles difficultés respiratoires (LEONARD, 1971). Cette technique entraîne de plus une sévère **réduction de la lumière trachéale** et ne peut être appliquée que pour un **collapsus cervical** ou situé au **début de la trachée intra thoracique** (accessible alors par traction). Elle a été testée sur un cas clinique par SLATTER et PETTIT en 1974 **sans réelle amélioration**.

iv) Bilan

Cette technique historique est **simple et rapide** à réaliser mais présente de **nombreux inconvénients** dont une réduction sévère du diamètre trachéal qui **contre-indiquent** son utilisation actuellement.

ii. Résection et anastomose trachéale

i) Description

En 1970, DONE, CLAYTON-JONES et PRICE décrivent plusieurs techniques expérimentales envisageables lors d'un collapsus trachéal dont la **résection chirurgicale** de la zone de la trachée où siège le collapsus trachéal et **l'anastomose des deux portions trachéales restantes**. Cette anastomose est mise en place avec un fil résorbable et par une suture discontinue qui va entraîner une sténose moins importante qu'en cas de suture continue (FINGLAND, LAYTON, KENNEDY et GALLAND, 1995).

ii) Avantages

Dans une étude de 1995, FINGLAND, LAYTON, KENNEDY et GALLAND montrent que **25%** de la trachée d'un chien **sain** peuvent être **reséqués sans problèmes majeurs**. Cette valeur est inférieure pour un chien présentant une pathologie trachéale mais non déterminée.

Selon TSUKADA et al en 2012, si la portion à reséquer est importante (supérieure à la moitié de la longueur de la trachée), une **greffe** doit être mise en place. Cette greffe **se contracte par la suite mais aucune régénération trachéale n'a lieu**. Une étude sur 5 chiens a montré qu'une greffe (prothèse en copolymère d'acide L-lactique et ϵ -caprolactone renforcée par de l'acide polyglycolique) est possible afin de reconstruire un segment trachéal long. Après résection de la portion de trachée collabée, cette greffe est mise en place autour d'un tube en silicone intra-trachéal et plusieurs mois plus tard, suite à la contraction de la greffe, une deuxième étape chirurgicale a lieu. Lors de celle-ci, la trachée est suturée bord à bord en reséquant la zone greffée. Aucune complication sévère n'a été relevée dans les 2 mois de l'étude.

iii) Inconvénients

La **trachéomalacie** est un processus qui **peut toucher d'autres portions trachéales** chez un même animal (SURA et KRAHWINKEL, 2008). La résection et l'anastomose d'une zone touchée à un moment donné ne peuvent en aucun cas arrêter la progression de la maladie.

De plus, en cas de **collapsus dépassant 25% de la longueur de la trachée**, cette technique n'est **plus envisageable** (DALLMAN et BROWN, 1979). Elle est délicate à réaliser surtout au niveau de l'entrée du thorax. Selon Hedlund et Tangner, en 1983, elle est associée à de nombreuses **complications** :

- Des **sténoses** en cas de mauvaise apposition des segments lors de l'anastomose ou de tensions excessives
- Une formation de **tissu de granulation**
- Une **clairance muco ciliaire ralentie** (jusqu'à 21 jours après l'opération) favorisant les surinfections (FINGLAND, DEHOFF et BIRCHARD, 1987).

iv) Bilan

La résection et l'anastomose de la portion de trachée concernée par le collapsus trachéal forment une **technique invasive** qui va permettre un **soulagement à court terme** de l'animal, elle n'est **plus envisageable** actuellement pour cette pathologie.

iii. Plicature de la membrane trachéale dorsale

Cette procédure a été décrite en 1973 par RUBIN, NEAL et BOJRAB.

i) Description

La plicature est une procédure chirurgicale qui consiste à **plier la membrane trachéale dorsale** et à réaliser une **suture** de celle-ci afin de rapprocher les deux extrémités cartilagineuses des anneaux trachéaux dorsalement (fil polyester monofilament non résorbable). Des **antibiotiques** sont administrés afin de minimiser les risques d'infection (BOJRAB et NAFE, 1976).

ii) Avantages

La technique est assez simple **rapide et peu coûteuse**. Elle diminue la protrusion de la membrane trachéale au sein de la lumière.

iii) Inconvénients

Cette procédure nécessite une **dissection minutieuse de la trachée** afin de ne pas léser l'innervation et la vascularisation. Elle est plus **invasive** dans le cas d'un collapsus intra-thoracique. Dans les cas sévères, cette technique entraîne une **réduction importante du diamètre de la trachée** (BOJRAB et NAFE, 1976) pouvant être risquée lors d'excès de production de mucus, fréquent après la chirurgie. De plus, **l'absence de soutien physique** de la trachée peut entraîner une **récurrence des signes cliniques** (HOBSON, 1976).

iv) Bilan

Cette technique était utilisée uniquement pour les **grades I et II** et notamment les cas dans lesquelles la protrusion de la membrane trachéale cause la majeure partie du collapsus.

iv. Prothèses extra-luminales

i) Définition

La mise en place de **prothèses extra-luminales** (ou anneaux extra-trachéaux) est une méthode dans laquelle les anneaux trachéaux sont **fixés** à une ou plusieurs **prothèses mises en place autour de la trachée** afin de leur rendre une forme permettant le passage de l'air.

ii) *Rappel historique et présentation des différents types de prothèses extra luminales*

a. Tubes en matière plastique

Les **premières** prothèses extra-luminales en médecine vétérinaire ont été décrites par SCHILLER et HOLMBERG en 1964 dans une étude sur 4 chiens présentant un collapsus trachéal (fig. 20). Un quart de la circonférence d'un **tube cylindrique en plastique** (épaisseur : 3mm et diamètre intérieur : 19mm), de la longueur du collapsus, est enlevé. Le tube est ensuite mis en place autour de la trachée afin de **couvrir la zone ventrale de la portion collabée**, après dissection de celle-ci des tissus environnants. Des **sutures** sont ensuite placées à travers le plastique et la trachée.

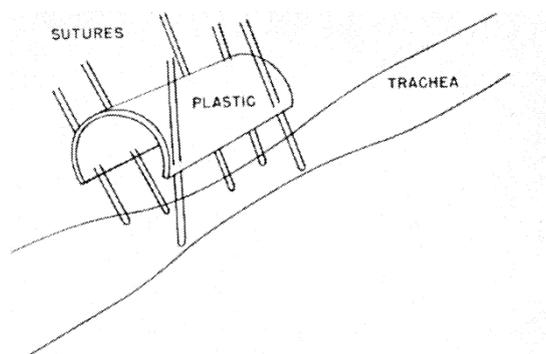


Figure 20 : Prothèse extra-luminale développée par SCHILLER et HOLMBERG en 1964.

Résultats :

Cette prothèse **interfère peu avec l'appareil muco-ciliaire** et a permis une amélioration des signes clinique chez **la moitié** des animaux traités.

b. Anneaux en forme de « C »

a) *Réalisés à partir de seringues en polypropylène*

HOBSON, en 1976, fabrique des prothèses à partir de l'enveloppe de **seringues en polypropylène de 3 ml percées et stérilisées** dont une partie de la circonférence est retirée (longueur : 6 à 19 mm) (fig. 21). Les anneaux sont alors placés après **dissection ventrale** de la trachée, sur l'ensemble de la trachée extra-thoracique et jusqu'au deuxième espace intercostal de la trachée intrathoracique par traction en laissant 0.6 à 1.3 cm entre chaque prothèse.

Quatre sutures cartilagineuses et une suture musculaire sont mises en place (fil monofilament résorbable (Dexon)). Une **dissection minutieuse** de la paire de nerfs laryngés récurrents ainsi que de la vascularisation est à réaliser lors de cette chirurgie pour les préserver. En 1982, lors d'une étude sur 20 chiens, des anneaux similaires sont posés sur **l'ensemble de la trachée cervicale** par TANGNER et HOBSON.

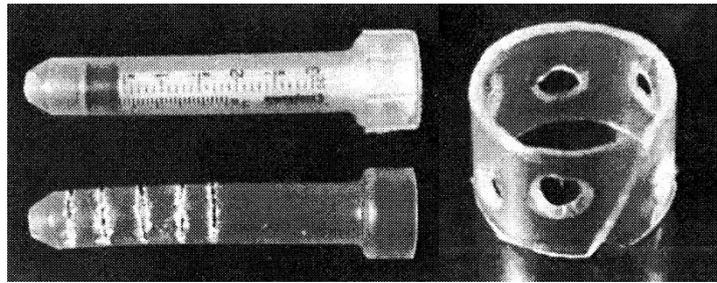


Figure 21 : Enveloppes des seringues dans lesquelles sont réalisées les anneaux en polypropylène (gauche) et anneaux en polypropylène percés (droite), d'après HOBSON, 1976.

Résultats :

En 1976, HOBSON constate une amélioration clinique des chiens opérés. La technique n'est alors pas envisagée pour un collapsus intrathoracique afin d'éviter les risques inhérents à la sternotomie (ouverture du thorax et dissection délicate de la trachée intrathoracique). Pour TANGNER et HOBSON, le résultat est satisfaisant car 60% des chiens n'ont **plus besoin de traitement médical un an et demi après la chirurgie** (15% prenaient des antitussifs régulièrement) et les propriétaires rapportent une **bonne réponse clinique** de leur animal dans 85% des cas (et aucune amélioration dans 15%).

b) Réalisés en Teflon

Des prothèses en Teflon ont été fabriquées à partir de **cylindres de Teflon** coupés afin d'obtenir des anneaux en « C » (fig. 22). Elles étaient suffisamment **fines** pour être percées par l'aiguille et suturées à la trachée et étaient **stérilisées** dans un bain d'oxyde d'éthylène (SLATTER et PETTIT, 1974). Du fil en nylon ou polypropylène était utilisé pour les sutures et celles-ci posées de façon à ce qu'elles ne traversent pas la muqueuse trachéale. Cette technique était encore récemment décrite dans ces principes avec quelques modifications, et utilisée en chirurgie.

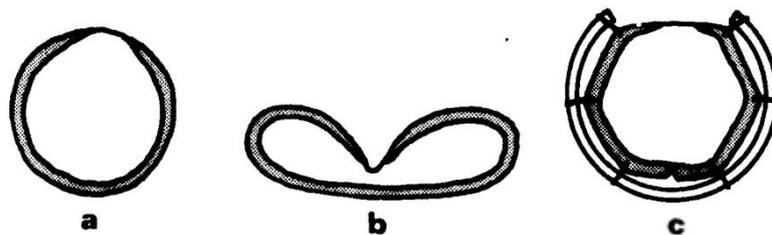


Figure 22 : Forme normale de la trachée en coupe transversale (a), trachée présentant un collapsus trachéal (b) et forme de la trachée suite à une chondrotomie trachéale et la pose d'anneaux extra-trachéaux en Teflon d'après SLATTER et PETTIT, 1974.

Résultats :

Un animal a été traité avec succès en utilisant ces prothèses.

c) *Réalisés à partir de la chambre compte-goutte en polychlorure de vinyle d'un perfuseur par gravité*

Une étude sur un **faible nombre** de chien (5 animaux) a été réalisée par AYRES et HOLMBERG en 1999. Des prothèses sont réalisées à partir de la **chambre compte-goutte en polychlorure de vinyle d'un perfuseur par gravité** (fig. 23).

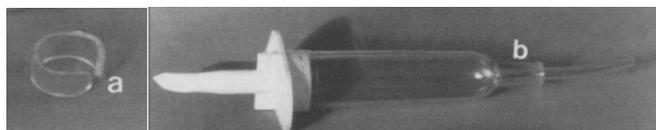


Figure 23 : Anneau extra-trachéal (a) réalisé à partir de la chambre compte-goutte d'un perfuseur par gravité (b), d'après AYRES et HOMBERG, 1999.

Résultats :

L'**inflammation** induite par les prothèses est **légère** un mois après la chirurgie. Ces prothèses ont une **bonne stabilité**, **s'adaptent à la forme** de la trachée, sont **faciles à fabriquer et à suturer**. Les chiens ne présentent plus de signes cliniques suite à la chirurgie mais 25% ont continué à recevoir un **traitement antitussif**.

d) *Prothèses manufacturées*

Des prothèses **manufacturées en plastique** sont actuellement vendues par plusieurs laboratoires (dont New Generation Devices, Glenrock, NJ (d'après New Generation Devices. *Tracheal Rings*)) (fig. 24).

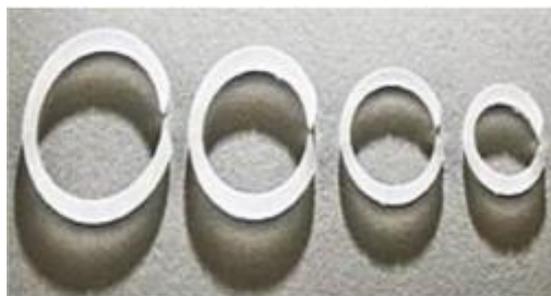


Figure 24 : Prothèses manufacturées de différentes tailles. D'après New Generation Devices. *Tracheal Rings*.

Technique chirurgicale :

La trachée est visualisée par un **abord ventral** de la région cervicale puis au niveau des zones d'implant, la trachée est totalement **disséquée** des tissus environnant afin de permettre le **passage de l'anneau en plastique**. Les sutures sont réalisées au travers du **cartilage et de la muqueuse trachéale**, en entourant la prothèse (4 à 7 sutures en fil monofilament irrésorbable, 3-0 ou 4-0, par anneau).

Concernant le **choix initial de l'anneau** par rapport au diamètre trachéal, il est conseillé de **sous-estimer le diamètre** de l'anneau **plutôt que de le surestimer**.

Résultats :

80 à 100% des propriétaires rapportent un **résultat satisfaisant** plusieurs mois après la chirurgie (TINGA et al, 2014, CHISNELL et PARDO, 2015). Le placement des anneaux est assez **rapide et facile**. Les avantages de ces prothèses seront détaillés dans le paragraphe III.F.2.iv.γ..

c. Prothèses spiralées

Des **prothèses spiralées soutenant l'ensemble de la trachée** ont été créées par FINGLAND, DEHOFF et BIRCHARD en 1987 afin d'éviter la récurrence des signes cliniques pouvant avoir lieu lorsque seule la trachée cervicale est soutenue. Ces spirales sont fabriquées à partir d'enveloppes de **seringues de 3 ml en polypropylène** (un tube de 6,5 cm de long permet de créer 3 spirales de 3 mm de large) et elles sont ensuite stérilisées (fig. 25).

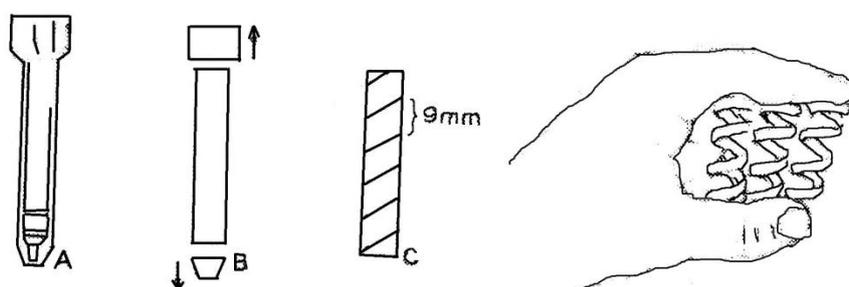


Figure 25 : Les seringues en polypropylène (A) sont coupées (B) et trois spirales sont ensuite créées (C) d'après FINGLAND, DEHOFF et BIRCHARD, 1987.

Technique chirurgicale :

Cette technique comprend **deux temps** :

- Tout d'abord la mise en place de la prothèse spiralée sur la **trachée intrathoracique** via une thoracotomie intercostale latérale droite au niveau du troisième espace intercostal. Cet abord thoracique est le **moins traumatique, est rapide** et entraîne **peu de complications** contrairement à une traction cervicale de la trachée, un abord par le médiastin antérieur ou une stéréotomie médiane. Il ne nécessite **pas une dissection longue du médiastin** tout en permettant une **bonne visualisation trachéale**. Il est cependant important de prendre garde à **préserver l'innervation et la vascularisation** notamment les veines cave craniale, azygos et costo-cervicale et les nerfs vague et laryngé récurrent médial. La prothèse spiralée est mise en place, au plus proche de la carène bronchique en **enroulant la spirale** autour de la trachée et des **sutures** en polypropylène (irrésorbable et acapillaire) 4/0 sont posées sur les quatre faces.
- Puis, l'abord cervical via une ligne cervicale ventrale permet la mise en place d'une prothèse similaire sur la **trachée cervicale**.

Des **antibiotiques** sont prescrits dans les quinze jours suivant l'opération et des **antitussifs et des bronchodilatateurs** sont ajoutés au besoin.

Résultats :

L'ensemble de la trachée est soutenue avec les prothèses spiralées et leur application est facile. De plus, aucun trou n'est nécessaire au sein de la prothèse pour les sutures et la trachée garde sa flexibilité par la suite (FINGLAND, DEHOFF et BIRCHARD, 1987). Les complications post opératoires sont minimes (toux et douleur moyenne) et la clairance muco ciliaire est peu altérée. Huit semaines après la chirurgie, des adhérences moyennes sont visibles entre les prothèses et les tissus adjacents, une fibrose et une inflammation modérée de l'adventice sont également observables mais n'entraînent pas de signes cliniques. 70% des sutures sont recouvertes par un épithélium cilié normal (les sutures non recouvertes étant une source de toux et d'infection). Les anneaux sont donc bien tolérés par l'hôte. De plus, toute la trachée peut être traversée lors des sutures et il n'y a pas d'avantage à réaliser les sutures en préservant la muqueuse trachéale (FINGLAND, WEISBRODE et DEHOFF, 1989).

iii) Avantages des prothèses extra-luminales manufacturées et survie au long terme

Les anneaux extra-trachéaux permettent :

- Une restauration du diamètre de la trachée sans interférer avec l'appareil muco-ciliaire ;
- Un maintien de la lumière trachéale au cours de la respiration et durant les épisodes de toux. (SUN et al, 2007).

Le taux de survie initiale après la chirurgie varie entre 91 et 95% selon les études et la survie à plus de deux ans et demi varie entre 48,9 et 83% (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996; CHISNELL et PARDO, 2015). Enfin, selon BECKER et al. en 2011, 88% des chiens survivent plus de 6 mois et la survie moyenne est de 1680 jours.

Pour BUBACK, BOOTHE et HOBSON en 1996, sur 90 chiens, l'âge est associé aux résultats sur le long terme. En effet, les chiens de moins de 6 ans présentent un collapsus plus sévère mais les résultats sont meilleurs suite à la chirurgie que pour les chiens de plus de 6 ans. En 2011, une étude sur 33 chiens révèle des conclusions contraires et montre qu'il n'y a pas d'effet de l'âge, de l'isolement de la trachée au cours de la chirurgie, de la présence d'une détresse respiratoire au moment du diagnostic, du chirurgien, ou d'une paralysie laryngée post opératoire sur la médiane de survie des animaux (BECKER et al, 2011). De nouvelles études semblent indispensables pour clarifier ce point.

On remarque que 77 à 88.9% des patients sont normaux ou cliniquement améliorés au long terme et 65% des animaux n'ont plus besoin d'un traitement médical deux semaines après la chirurgie (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; CHISNELL et PARDO, 2015).

Cependant il est intéressant de voir qu'il existe de grande différences concernant le ressenti des propriétaires et celui des vétérinaires sur les résultats de la chirurgie. En effet, suite au questionnement des propriétaires, 66.7% déclarent que leur chien est asymptomatique

(contre 22,4% selon les vétérinaires traitants), 17.6% que leur chien présente moins de signes cliniques (Vet = 65.5%) et 15.8% ne voient aucune réponse suite à la chirurgie (Vet = 10.3%). Il convient donc de rester prudent quant aux résultats des questionnaires de satisfaction qui peuvent être mis en place (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996).

iv) Effets de la présence d'un collapsus intrathoracique sur les résultats de la chirurgie

Selon deux études, **11 à 45%** des chiens traités pour un collapsus trachéal extra thoracique ont également un collapsus **intrathoracique** ou un collapsus **bronchial** (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; BECKER et al, 2011).

Le fait de **soutenir la trachée cervicale** avec des anneaux extra-trachéaux entraîne une **amélioration** des signes cliniques liés au collapsus **intrathoracique**. La pression intraluminale négative créée distalement au sein de la trachée intrathoracique réduit le collapsus de cette zone. De plus, il n'y a **pas de différence en terme de volume tidal** (volume d'air normalement inspiré puis expiré durant la respiration) entre les chiens présentant un collapsus **cervical seul** et ceux présentant un collapsus **cervical et intrathoracique** ce qui pourrait expliquer cette amélioration clinique (PARDALI, ADAMANA-MORAITOU et RALLIS, 2010).

Il n'y a **pas de différence en terme de médiane de survie** entre des animaux présentant un collapsus intra et extra thoracique et ceux ayant un collapsus cervical seul (BECKER et al, 2011). De plus, dans une étude sur 23 chiens, CHISNELL et PARDO en 2015, montrent qu'il n'existe pas de lien entre le grade ou la localisation du collapsus et le développement de complication, le décès des animaux, les résultats à long terme ou la progression de la maladie. **La présence d'une bronchomalacie ne doit pas être un critère d'exclusion pour une chirurgie de la trachée cervicale.**

Cependant, les animaux ayant un collapsus intrathoracique non traité chirurgicalement nécessitent un **traitement médical au long terme.**

v) Inconvénients

- a. Inconvénients des différentes prothèses extra-trachéales

Chronologiquement, les anneaux larges de SCHILLER et HOLMBERG (1964) n'apportaient **pas d'amélioration en cas de flaccidité** de la membrane trachéale. Ils **diminuaient la flexibilité** de la trachée et une **toux** ainsi qu'une **dyspnée** étaient rapportées par les propriétaires. Les anneaux d'HOBSON ont alors été conçus (1976), cependant si le **contact** de l'anneau avec la trachée **n'était pas uniforme**, la muqueuse pouvait se plisser et être alors érodée par les prothèses. De plus, la mise en place des **sutures** à travers les trous percés était **délicate** une fois les prothèses mises en place et **la trachée n'était pas soutenue entre les anneaux ce qui entraînait un risque de collapsus** au sein de ces zones engendrant des **signes cliniques**. Pour contrer ces inconvénients, des essais d'anneaux réalisés avec des

tubulaires de perfusions (souples et transperçables à l'aiguille) (AYRES et HOLMBERG, 1999) et des prothèses spiralées ont été mises en place. (FINGLAND, DEHOFF, BIRCHARD, 1987). Cependant cette dernière technique est **invasive** et **plus difficile à mettre en œuvre** notamment en cas de collapsus intrathoracique qui nécessite alors un **abord chirurgical par thoracotomie** en plus du choix de la taille de la spirale.

Le choix de la **taille de l'anneau extra-trachéal** est important pour redonner à la lumière trachéale une forme permettant un **passage optimal de l'air**. Lors de leur mise en place, **la dissection est délicate** afin de ne pas léser de vaisseaux et de nerfs. La chirurgie est **longue** (environ 105 minutes selon BUBACK, BOOTHE et HOBSON en 1996) tout comme l'hospitalisation post-opératoire et ces techniques ne permettent pas de traiter un collapsus des bronches principales.

b. Complications

a) *Paralysie laryngée*

La survenue d'une **paralysie laryngée** après la chirurgie est la complication la plus **courante**, elle survient dans 17 à 56.4% des cas (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; CHISNELL et PARDO, 2015). Une **diminution de la fonction des aryténoïdes** peut également avoir lieu suite à un œdème laryngé (20% des patients de l'étude de WHITE en 1995).

Plusieurs **hypothèses** ont été développées quant à sa survenue :

- Paralysie suite à une **neurapraxie** lors de la **mobilisation** du nerf ou suite à un **contact prolongé du nerf avec les prothèses** (WHITE, 1995)
- **Adhésions** entre la trachée et les nerfs laryngés récurrents
- **Granulome** autour de la prothèse affectant le nerf
- **Progression du collapsus jusqu'au cartilage laryngé**
- **Idiopathique**

Si la paralysie est **traitée rapidement**, elle n'assombrit pas le pronostic vital mais une **seconde intervention chirurgicale** est alors indispensable afin de la traiter (CHISNELL et PARDO, 2015).

Solutions envisagées :

La paralysie ne se résout pas spontanément chez certains chiens, une **trachéotomie** est alors nécessaire (WHITE, 1995). Cette intervention a été permanente pour 3 à 10% des animaux traités dans les études de BECKER et al. en 2011 et BUBACK, BOOTHE et HOBSON en 1996. Une autre solution envisageable est la **latéralisation unilatérale de l'aryténoïde** qui entraîne une amélioration significative des signes cliniques (CHISNELL et PARDO, 2015).

b) *Nécessité d'une trachéotomie suite à la chirurgie*

Une **trachéotomie** a été mise en place suite à des difficultés respiratoires après la chirurgie dans **5 à 18.9%** des cas (TANGNER et HOBSON, 1982 ; BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996). Cette technique présente de nombreux inconvénients comme une **irritation** voire une **érosion** de la muqueuse et de la sous-muqueuse. Un collapsus sera difficilement maîtrisable dans la **zone de trachéotomie** et de possibles complications graves peuvent survenir (WHITE, 1995). De plus, **l'entretien** du site de trachéotomie est **indispensable** par les propriétaires et le chien doit vivre dans un **environnement contrôlé** (absence de poussière en excès, de baignade et humidité contrôlée par exemple).

c) *Ischémie et nécrose*

Dans l'étude de WHITE et WILLIAMS, en 1994, 18% des chiens sont morts suite à des **lésions trachéales ischémiques**.

La **vascularisation** de la trachée comprend une artère thyroïdienne crâniale, une artère thyroïdienne crâniale caudale et une artère bronchique de part et d'autre de la trachée puis il existe une vascularisation latérale entre chaque anneau à partir de ces vaisseaux.

Au cours de la chirurgie, une **séparation de la trachée des pédicules latéraux** (dans la portion cervicale) et du **fascia médiastinal** (dans la portion thoracique) est indispensable pour poser les anneaux. Il n'y a **pas de source sanguine collatérale** pouvant remplacer la vascularisation sectionnée. C'est cet **isolement** de la trachée de son apport vasculaire et non la présence au long terme des prothèses qui **diminue le flux sanguin trachéal** et provoque donc une **ischémie**. En effet, lorsque la trachée est totalement isolée, la morbidité et la mortalité sont élevées chez les sujets.

Il est donc primordial de **ne pas retirer toute la vascularisation trachéale** lors de la dissection (KIRBY et al, 1991).

Ces résultats sont cependant en **contradiction** avec l'étude de COYNE et son équipe en 1993 dans laquelle ils ont testé une nouvelle technique chirurgicale pour la pose de prothèses spiralées dans la région cervicale. **La dissection de l'apport vasculaire n'est pas complète** : le pédicule latéral gauche incluant l'apport vasculaire segmentaire est disséqué mais une fenestration de 3 mm est réalisée dans le pédicule latéral droit et la prothèse est insérée dans cette fenestration puis suturée. **Une nécrose et une inflammation sont visibles** dans les jours suivant la chirurgie et elles sont liées ici à la **manipulation durant la pose** des prothèses ou à **l'application et au maintien des prothèses**. Ces phénomènes sont transitoires et donc certainement liés à l'ischémie créée. Cette technique est conseillée car elle permet le maintien d'une partie de la vascularisation et donc de la viabilité de la trachée.

On peut remarquer que dans les **études plus récentes**, dans lesquelles les pédicules latéraux sont **préservés**, la nécrose trachéale ne fait **pas partie** des complications (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; BECKER et al, 2011 ; CHISNELL et PARDO, 2015).

d) Toux et dyspnée

BUBACK, BOOTHE et HOBSON en 1996 montrent que 31.1% des chiens présentent des signes de **toux et de dyspnée** un mois après la chirurgie. Une toux **modérée** est relevée entre **55 et 66%** des cas et une toux **forte dans 5%** des cas (TANGNER et HOBSON, 1982 ; COYNE et al, 1993). Ces épisodes de toux peuvent survenir suite à des **hémorragies intratrachéale, un œdème ou une inflammation de la muqueuse** suite à la manipulation de la trachée au cours de la chirurgie, à l'**intubation** ou à la mise en place des **sutures** (HOBSON, 1976 ; FINGLAND, WEISBRODE et DEHOFF, 1989).

Un traitement **médical à base d'antitussifs** est alors nécessaire chez ces patients (TANGNER et HOBSON, 1982).

e) Accumulation de mucus au sein de la trachée

HOBSON en 1976 rapporte l'accumulation de **mucus et de sang** au sein de la trachée en post-opératoire.

f) Progression du collapsus trachéal entre les anneaux trachéaux mis en place

Des signes cliniques liés à la **progression** du collapsus trachéal **entre les prothèses** ont été relevés chez **13%** des animaux. Cette progression nécessite la plupart du temps une **nouvelle chirurgie** afin de rendre les voies aériennes à nouveau perméables (CHISNELL et PARDO, 2015).

g) Migration

Il existe des cas de **migration** des anneaux extra-trachéaux pouvant entraîner des **signes cliniques**. MOSER et GEELS en 2013 rapportent le cas d'un chien dont les 3 prothèses ont migré deux ans et demi après leur pose. Cette migration a alors entraîné une **dyspnée inspiratoire sévère**. PARADISE, MATHEWS et COHEN en 2016 rapportent une migration deux ans après la pose, entraînant **une perforation de l'œsophage** et des signes cliniques (régurgitations et toux), le scanner réalisé a alors été indispensable au diagnostic. Dans le premier cas, le **retrait des anneaux** ayant migré a permis une amélioration de la dyspnée.

Les **sutures** sont à réaliser précisément dans les **indentations créées par le fabricant** afin d'éviter un risque de rotation ou de migration.

h) Fracture des implants et perforation d'organes

La **fracture** de certains anneaux extra-trachéaux a été relevée, ils n'étaient **pas déplacés** et n'entraînaient **pas de signes cliniques**. Les **hypothèses** quant à la survenue de ces fractures sont les **mouvements** chroniques, une **friction** trop importante, un **traumatisme** cervical (traction sur un collier par exemple) ou une **taille inadaptée** des prothèses (entraînant des mouvements et des rotations) (PARADISE, MATHEWS et COHEN, 2016).

vi) *Améliorations possibles*

La **paralysie laryngée** étant une complication courante des chirurgies de pose d'anneaux extra-trachéaux, WHITE en 1995 a mis en place une **latéralisation de l'aryténoïde gauche en parallèle de cette pose**. La latéralisation consiste à désarticuler l'aryténoïde du cricoïde et de l'aryténoïde droit. Une suture (polypropylène 3-0 ou 4-0 (ethicon)) est mise en place pour permettre l'abduction du cartilage aryténoïde par une prothèse nouée sous tension ancrée à la base de l'insertion du muscle du cartilage aryténoïde à la portion caudo-dorsale du cartilage thyroïde. Cette méthode **diminue à 4% le taux de complications** (notamment les paralysies laryngées iatrogéniques). Des complications au long terme telles que des dysfonctionnements de fermeture de la glotte ou des fausses déglutitions ont été évitées. Cependant cette technique est **délicate à mettre en place car elle ajoute une intervention à la précédente augmentant à la fois le temps opératoire et le délabrement tissulaire**. De plus, elle nécessite des **soins intensifs** : une trachéostomie permanente a été indispensable dans 19% des cas et 24% des patients ont eu besoin d'une oxygénothérapie en post-opératoire immédiat.

Au final, cette technique est **controversée** du fait des risques de complications additionnelles. Elle serait alors à envisager uniquement si une paralysie laryngée survient après la chirurgie (CHISNELL et PARDO, 2015).

Bilan :

Les **techniques chirurgicales historiques** (la chondrotomie, la résection et anastomose trachéale et la plicature) ont été supplantées par la **pose d'anneaux extra-trachéaux**. Ceux-ci sont efficaces à court et long terme sur les collapsus extra thoraciques ; ils apportent une **amélioration clinique** chez la grande majorité des chiens traités. Cependant cette technique est **invasive** lors des collapsus **intrathoraciques** et elle présente de nombreux **inconvenients et complications sévères** tels qu'une paralysie laryngée ou une nécrose trachéale qui amènent à **chercher une nouvelle technique chirurgicale plus performante**.

Conclusion partielle :

Le collapsus trachéal est une pathologie touchant les **petites races canines** qui présentent alors une **toux sévère** associée parfois à une **dyspnée ou une intolérance à l'effort**. Le diagnostic passe par un **examen clinique** associé à au moins un examen **paraclinique**, souvent basé sur de l'imagerie médicale. Le **grade** du collapsus est déterminé afin de juger de la sévérité de la maladie et un **traitement médical** est ensuite mis en place. Si celui-ci se révèle **insuffisant**, une **chirurgie** est alors envisagée. Parmi les différentes techniques qui ont été utilisées, **seuls les anneaux extra-trachéaux sont encore mis en place aujourd'hui** mais leurs nombreux **inconvenients** rend nécessaire la **recherche d'une nouvelle technique chirurgicale**.

IV. Innovations thérapeutiques : Les prothèses endo-trachéales

A. Définition

Les prothèses endo-trachéales sont des dispositifs insérés par **voie orale** au sein de la trachée afin de **rétablir le diamètre trachéal** initial. Elles sont mises en place grâce à des techniques telles que la **fluoroscopie ou l'endoscopie** (SUN et al, 2007). La pose est une technique **peu invasive**, la chirurgie est **courte** et apporte un **soulagement rapide** à l'animal.

Par la suite, nous évoquerons les prothèses endo-trachéales avec le terme « **stent** », ce terme anglais a été mis en place par Charles Thomas Stent (1807–1885), un dentiste qui développa un matériau pour empreinte dentaire et l'utilisa pour combler les espaces vides après traitement des racines. Il est depuis utilisé pour décrire des dispositifs de maintien de la perméabilité d'une structure tubulaire (IBRAHIM, 2006).

B. Les caractéristiques du stent idéal

Selon ZAKALUZYNY, LANE et MAIR, en 2003, le **stent idéal** doit :

- Etre **facile à mettre en place**
- Posséder des **forces radiales suffisantes** pour maintenir la lumière trachéale et **éviter les migrations**
- Etre **très élastique** notamment en compression sans entraîner d'usure du matériel
- Etre suffisamment **flexible** pour ne pas créer de lésions
- Etre **biocompatible** afin d'éviter les rejets, les infections et la prolifération de tissu de granulation
- Permettre le **fonctionnement de l'appareil muco-ciliaire**
- **Pouvoir être retiré** au besoin

C. Historique

1. Développement des stents en médecine humaine

- À la fin du XIX^{ème} siècle, les premiers tubes destinés à être placés au long terme dans la trachée pour la rendre perméable ont été créés par **Bond (1891)**. Il s'agissait de tubes en forme de T qui étaient placés par le site de trachéostomie (deux branches situés dans la trachée et une débouchant vers l'extérieur)
- En **1960, Aboulker et son équipe** traitaient des lésions suite à une intubation avec des tubes en T
- En **1965, Montgomery** a développé des tubes en T en silicone destinés à traiter les sténoses trachéales complexes

- Le tube en T de Montgomery a ensuite été modifié **par Duvall et Bauer en 1977** et par **Cooper et son équipe en 1981** de façon qu'il puisse être inséré par bronchoscopie
- En **1982, Westaby et son équipe** ont créé un nouveau stent avec une bifurcation terminale pour pouvoir le positionner au niveau de la carène bronchique
- En **1984, Westaby et Shepherd** ont également modifié la forme des tubes en T, en retirant la branche perpendiculaire afin de permettre leur insertion par voie orale
- Enfin, en **1989, Cooper et son équipe** changèrent la composition de ces stents pour créer des tubes en T avec bifurcation en Silastic

En **médecine humaine**, les stents trachéaux sont utilisés pour perméabiliser les voies aériennes en cas de :

- **Sténoses** bénignes ou malignes non retirables
- **Inflammation ou œdème**
- **Tumeurs** obstructives
- **Sténose suite à une résection puis anastomose trachéale**
- **Trachéo-bronchomalacie**
- **Fistule respiratoire** (GAER et al, 1992 ; GRILLO, 2003 ; IBRAHIM, 2006)

2. Développement des stents en médecine vétérinaire

En **médecine vétérinaire**, les premiers stents ont été développés par **Butler en 1961** et plusieurs études ont testé leur efficacité par la suite (SLATTER et PETTIT, 1974).

Cependant, ces stents n'étaient **pas optimaux** et présentaient de **nombreux inconvénients** :

- La **longueur excessive** du tube entraînait une **irritation** du larynx d'où une **toux chronique** et la formation de **tissu de granulation** en excès. La compression de l'œsophage pouvait également entraîner une **dysphagie**
- Le tube était **rigide**, interférait avec la clairance muco ciliaire et pouvait provoquer une érosion trachéale
- Le **choix de la longueur** du tube était **difficile**
- Des **migrations, des expectorations, une nécrose de la trachée, la formation de tissu de granulation aux extrémités du stent** étaient couramment rapportés (SLATTER et PETTIT, 1974 ; LEONARD et WRIGHT, 1978)

Les **mauvais résultats** constatés rendaient alors leur **utilisation très limitée**. Nous allons voir par la suite les **progrès** qui ont été réalisés **afin d'améliorer les stents**.

D. Les premiers stents développés : Stents métalliques de première génération

1. Stent Palmaz-Schatz

i. Description

Les **stents Palmaz** (fig. 26) sont des stents **en acier inoxydable 316L expansibles** mis en place autour d'un **cathéter d'angioplastie à ballonnet**, l'ensemble est inséré dans la trachée et le ballonnet est **gonflé** afin de donner au stent son diamètre définitif puis dégonflé et le dispositif est retiré.

Ils ont été créés par un radiologue argentin, Julio Palmaz et un cardiologue américain, Richard Schatz et furent posés pour la première fois chez l'homme en **1987** en tant qu'**endoprothèse coronaire**.



Figure 26 : Stent Palmaz autour du cathéter d'angioplastie à ballonnet (CC) d'après BRAZELL J.

ii. Avantages

Ces stents sont de **petite taille**, leur placement est **précis** et **l'ajustement du diamètre est possible** grâce au ballonnet car le stent n'est pas élastique et est facile à étirer (SUN et al, 2007).

iii. Inconvénients

Ces stents sont **rigides**, **ne s'intègrent pas dans la muqueuse** et le **diamètre** de la lumière trachéale est **réduit**.

Dans une étude sur 10 chiens d'expérimentation, 19 stents ont été mis en place dans la trachée et/ou les bronches. De nombreuses **complications** ont été relevées en post-opératoire (migration (36,8%) ou écrasement (21,1%) du stent, œdème pulmonaire (10,5%) et un développement bactérien dans 53% des cas) entraînant une **toux** et une **dyspnée**. Les animaux ont eu besoin d'un **traitement médical**. S'il y a un **écrasement**, le stent Palmaz peut être **redéployé** grâce à un nouveau ballonnet. La formation de **tissu de granulation** est également rapportée (RADLINSKY et al, 1997 ; SUN et al, 2007).

iv. Bilan

En l'état, les stents Palmaz ne sont **pas appropriés** pour un placement intratrachéal chez le chien.

2. Stent Gianturco Z

i. Description

Les **stents Gianturco Z** (fig. 27) sont des stents **expansibles** réalisés avec un fil en **acier inoxydable** en forme de zigzag. Deux **barbillons** peuvent être placés aux **extrémités** afin de prévenir les migrations (TANABE, 1993). Ces stents peuvent être **couverts ou non** couverts.

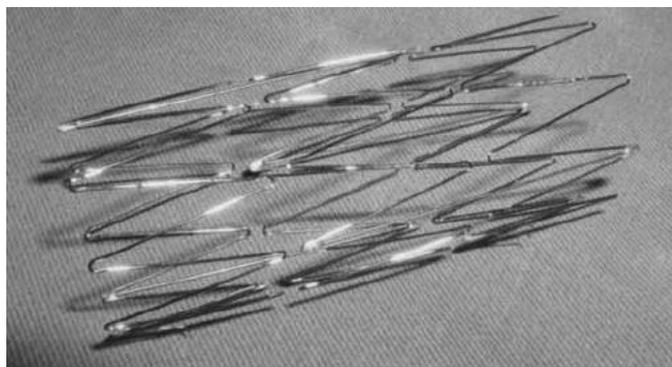


Figure 27 : Stent Gianturco Z d'après SUZUKI et al, 2006.

ii. Stents non couverts

i) *Présentation*

Une étude sur huit chiens montre qu'un fil d'acier ayant une **épaisseur** comprise entre **51 et 62 μm** formant un stent de **2 cm de longueur** fournit une **dilatation optimale** de la trachée permettant une **bonne intégration** du stent dans la muqueuse (TANABE, 1993).

ii) *Avantages*

Ce stent permet un **maintien de la dilatation trachéale** et il est recouvert d'un **épithélium cylindrique cilié**, trois semaines après la chirurgie (TANABE, 1993).

iii) *Inconvénients*

Cependant, une **réaction inflammatoire** de la muqueuse persiste et il est **délicat** d'obtenir une **bonne expansion** du stent (TANABE, 1993). JANTZ et SILVESTRI en 2000 révèlent que le stent Gianturco Z est assez **rigide**, et ne **s'adapte pas bien à l'anatomie** de l'appareil respiratoire. De plus, il a tendance à **se déployer trop distalement**. Des **complications** diverses sont survenues dans 21% des cas (migration, fracture, perforation trachéale, érosion de l'artère pulmonaire et la formation de tissu de granulation).

Pour améliorer le déploiement, **deux stents sont parfois connectés** avec une suture métallique ou en silicone.

iii. Stents couverts

i) *Présentation*

Les stents peuvent être **recouverts** d'un traitement de surface afin d'être parfaitement intégrés à la muqueuse et de pallier les inconvénients des stents non couverts. Une étude de 1998 a cherché à déterminer quels revêtements étaient **biocompatibles** sur des stents Gianturco Z (à 6 pointes, de 2 cm de long et 1,5 à 2 cm de diamètre réalisés avec un fil de 0,45 mm de diamètre) (MITSUOKA et al, 1998).

ii) *Revêtement et traitement de surface adaptés*

Le revêtement le plus adapté est réalisé en **polypropylène**, en effet, il **absorbe l'humidité et est élastique**. De plus il est **biocompatible** (il est recouvert par un épithélium quatorze jours après la pose du stent et celui-ci est complètement intégré dans la muqueuse à 28 jours). **Le fil** du maillage est cependant **un peu épais** et quelques **ulcérations** de la muqueuse peuvent survenir (MITSUOKA et al, 1998).

iii) *Revêtement et traitement de surface inadaptés*

Le revêtement en **silicone** (peu absorbant et peu élastique) est **toléré** par les animaux mais il est **facilement expectoré**. Un maillage mis en place non pas en suivant les fibres métalliques mais en diagonale de celles-ci pourrait rendre la structure plus élastique. Les deux autres maillages testés (en polyester (très absorbant et élastique) et en polytétrafluoroéthylène ou Teflon (très peu absorbant et élastique)) se sont révélés **trop inflammatoires et irritants** et donc **inutilisables** en revêtement de stents (MITSUOKA et al, 1998).

iv. Bilan

Les **stents Gianturco Z pourraient être utilisables** en cas de collapsus trachéal du fait de leur caractère **expansible** mais ces stents entraînent de **nombreuses complications**. Un revêtement en **polypropylène** semble cependant envisageable et permettrait d'augmenter leur élasticité mais **d'autres d'études sont nécessaires** pour affiner ce stent. **Leur usage n'est pas recommandé** (TANABE, 1993 ; JANTZ et SILVESTRI, 2000).

Synthèse :

Les **stents métalliques de première génération** apparaissaient **peu biocompatibles** et aboutissaient à de nombreuses **complications**. Leur pose restait moins efficace et sécuritaire que la mise en place d'anneaux extra-trachéaux. **Une amélioration des stents est encore recherchée.**

E. Les stents de nouvelles générations, disponibles en médecine humaine ainsi qu'en recherche préclinique

1. Stents en silicone

i. Stent Dumon

i) Description

DUMON en 1990 a mis au point un **tube radio opaque en silicone** (fig.28). Sa surface est **lisse** avec une couche superficielle comprenant des petits **crampons** afin de faciliter l'ancrage du stent. Ce stent est utilisé en **médecine humaine** pour lutter notamment contre les **obstructions tumorales**.



Figure 28 : Stent Dumon (image reproduite avec l'autorisation de NOVATECH) d'après Novatech. *Tracheobronxane™ Dumon®*.

ii) Avantages

Ces stents sont **peu coûteux**, **repositionnables** et les **complications** engendrées sont **rare**s (DUMON, 1990). Dans une étude en médecine humaine sur 1058 cas d'obstruction bénigne ou maligne (compression extrinsèque ou trachéomalacie), 54% des stents ont été placés dans la trachée et **aucun cas de compression** du stent entraînant une **nouvelle sténose n'a eu lieu** (DUMON et al, 1996).

iii) Inconvénients

Chez l'homme, lors d'obstructions, les **stents Dumon migrent** dans 10 à 15% des cas. De plus **l'inflammation** engendrée entraîne la formation de **tissu de granulation** (7,9 à 18%). Ils **diminuent la clairance muco ciliaire** et sont alors **obstrués** par des sécrétions dans 3,6 à 8% des cas (cela est aussi favorisé par le faible diamètre intérieur des stents Dumon). On remarque que ce sont les obstructions classées comme **malignes** (compression extrinsèque ou trachéomalacie) qui engendrent les **taux de complication les plus élevés**.

Des complications **mineures** telles que des ulcérations de la muqueuse ou une aphonie sont aussi relevées (DUMON, 1990 ; DUMON et al, 1996).

Des essais sur des animaux d'expérimentation ont montré que la **migration** et la formation de **tissu de granulation** sont deux complications **courantes**. D'autre part, **l'épaisseur du stent** et **l'utilisation indispensable d'un bronchoscope** sont les deux principaux **inconvenients** (BOLLIGER et al, 1999 ; XAVIER et al, 2007).

iv) Bilan

Les **stents Dumon** en silicone sont **utilisés chez l'homme** pour lutter contre des **obstructions trachéales essentiellement d'origine tumorale**. Leur pose chez le **chien** entraîne des **complications** telles que la **migration ou la formation de tissu de granulation** limitant leur utilisation. En l'état actuel, ils ne sont **pas indiqués** dans le cadre du collapsus trachéal chez le chien.

ii. Stent Dumon modifié

i) Description

XAVIER et son équipe en 2007 ont modifié le **stent Dumon initial** afin **d'améliorer sa biocompatibilité et son utilisation**. Les stents ont une dureté de 70-75 shore A, sont **radio opaques** grâce à de la poudre de baryum, leur surface est polie et ils sont **annelés** afin de pouvoir être intercalés entre les anneaux trachéaux. De plus, leurs **extrémités ne sont pas traumatisantes**.

ii) Avantages

Huit semaines après leur implantation (les stents sont suturés à la trachée), **aucune migration ou autre complication majeure** n'ont eu lieu. Les extrémités non traumatisantes n'entraînent pas de lésions sévères de la muqueuse (XAVIER et al, 2007).

iii) Inconvénients

Les inconvénients sont proches de ceux du stent Dumon malgré les modifications. Quelques zones de muqueuses ont malgré tout été **érodées** et une **inflammation modérée** ainsi que la formation de **tissu de granulation** sont décelables. **L'épaisseur inchangée** du stent est toujours source de **complication** (XAVIER et al, 2007).

iv) Bilan

Ces stents ont pour le moment été **expérimentés chez les animaux** dans le cadre d'études destinées à leur pose dans l'espèce humaine. Des études spécifiques au chien seraient nécessaires pour tester leur réelle efficacité dans le cadre du collapsus trachéal et permettre d'optimiser ces stents en silicone.

Bilan :

Les stents en silicone ne sont pas adaptés pour traiter le collapsus trachéal chez le chien du fait de leur risque de **migration** trop important et la formation de **tissu de granulation** pouvant entraîner une **obstruction** des voies respiratoires.

2. Stents métalliques de deuxième génération

i. Wallstent

i) Description

Ce stent est un **implant auto-expansible**, en forme de tube, composé de fils métalliques entrecroisés (20 à 24 filaments de 100µm d'un alliage d'acier inoxydable et de cobalt) conçu par Hans Wallstén et breveté en 1982 (fig. 29). Il est implanté, à l'aide d'un **cathéter**, pour la première fois dans les artères coronaires d'un patient, à l'Hôpital universitaire de Toulouse en 1986.

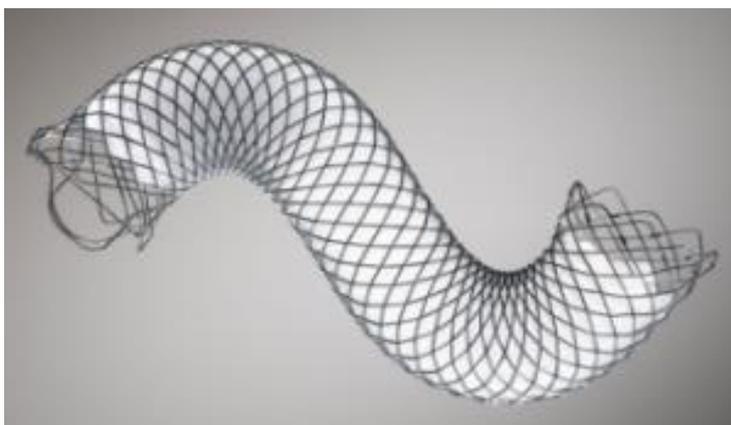


Figure 29 : Un stent Wallstent partiellement couvert (image reproduite avec l'autorisation de BOSTON SCIENTIFIC) d'après Boston Scientific. *WallFlex™ Biliary RX Stents*.

Ces stents sont actuellement **commercialisés en médecine humaine** par le laboratoire Boston Scientific et peuvent être **couverts ou non** couverts. Ils sont utilisés aussi en **intratrachéal** afin de lutter contre les **obstructions tumorales** ou en cas de **complication sténotique** suite à une transplantation pulmonaire (SAAD et al, 2003).

Des essais ont ensuite été menés afin de tester ces stents au sein de la **trachée des chiens atteints de collapsus trachéal**.

ii) Avantages

Dans une étude réalisée en 2004, MORITZ, SCHNEIDER et BAUER ont mis en place des Wallstent sur 24 chiens. Ces stents sont disponibles en **différentes tailles** et **leur pose s'est révélée facile**. Ils sont complètement **recouverts par la muqueuse trachéale** soixante-huit jours après la chirurgie (SAAD et al, 2003). Les Wallstent étant auto-expansibles, les **forces radiales sont appliquées uniformément** ce qui diminue le risque de perforation et de migration. De plus, ils sont **flexibles, compressibles** et **l'appareil muco ciliaire est relativement préservé** (aucune obstruction par du mucus n'a été visualisée).

La **survie initiale (91,7%)** est comparable à la survie obtenue après la mise en place des prothèses extra-trachéales.

Une **amélioration clinique** est visible dans **95%** des cas immédiatement après la pose du stent. Une réévaluation à 68 jours montre que **30,4%** des chiens sont **asymptomatiques**, **60,9%** sont **améliorés** cliniquement et **4,3%** sont **symptomatiques**. Les bénéfices de cette technique semblent inférieurs à ceux des anneaux extra-trachéaux mais, concernant les taux de survie, les différences peuvent également s'expliquer par le fait que la **majorité des études sur les anneaux extra-trachéaux exclut les chiens ayant une bronchomalacie** contrairement à l'étude de MORITZ, SCHNEIDER et BAUER. En effet, une **bronchomalacie persistante peut être en partie responsable de la toux**.

Les avantages par rapport aux anneaux extra-trachéaux sont que les Wallstent sont **peu traumatiques, facile et rapide à poser** (5 à 15 minutes par rapport aux 105 minutes nécessaires à la pose des anneaux extra-trachéaux) et ne nécessitant **pas des soins intensifs** lourds après la chirurgie. De plus, les Wallstent **migrent moins** que les stents Palmaz.

iii) Inconvénients

En post-opératoire immédiat, 8,3% des chiens sont décédés à cause d'un **mauvais placement** du stent ou d'une **migration** de celui-ci. La **mortalité** dans la période de suivi de l'étude (1 à 29 mois) était de **21,7%** dont **20%** dus à des **problèmes respiratoires** (avec une **médiane de survie de 22,7 mois** (MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004). En comparaison avec les anneaux extra-trachéaux, **17 à 51,1%** des animaux sont **décédés** en moyenne au moins deux ans après la chirurgie dont **47,2%** à cause de **problèmes respiratoires** (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996; CHISNELL et PARDO, 2015).

Les différentes **complications** possibles lors de la pose de Wallstent sont :

- Une **toux sèche temporaire**
- Une **migration** du stent
- Un **granulome inflammatoire** entraînant un sévère rétrécissement de la lumière (28% des cas)
- Un **raccourcissement** d'environ 27,3% de la longueur initiale du stent (83% des cas) entraînant des signes cliniques de collapsus crânialement au stent dans 13% des cas. Les stents ont tendance à raccourcir de l'avant vers l'arrière.
- Des **hémorragies trachéales temporaires et un pneumo médiastin**, plus rarement (4,1% des cas)

On remarque que les **extrémités des stents sont irritantes** ce qui amplifie certaines complications comme les granulomes. Il est **impossible de repositionner le stent** si le placement n'est pas optimal après la pose initiale. Enfin, la **position crâniale du stent** est déterminée par le diamètre et la longueur de la trachée ainsi que l'étendue du collapsus trachéal et le diamètre et la longueur du stent. Il est **difficile de prévoir toutes ces variations** au cours du placement pour avoir une pose correcte (MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004).

iv) *Bilan*

Grâce à leur caractère **auto-expansible**, les Wallstent sont une assez **bonne alternative** aux anneaux extra-trachéaux même s'ils **conservent de nombreux inconvénients**. Il est important de bien **sélectionner les patients et la taille du stent** ainsi que de prévoir le raccourcissement de celui-ci afin que la pose soit optimale.

ii. **Stent Ultraflex™**

Le laboratoire Boston Scientific a développé des **stents en Nitinol** utilisés en médecine **humaine** (d'après Boston Scientific. *Ultraflex Tracheobronchial Uncovered Stent System*). Le nitinol est un alliage composé de **55% de nickel et 45% de titane**. Les stents très **flexibles** s'adaptent très bien aux structures anatomiques. Ils sont couramment utilisés de nos jours dans le cadre **d'obstructions tumorales**.

Ces stents peuvent être **couverts** de **polyuréthane** qui diminue la formation de tissu de granulation et la croissance tumorale. Ce traitement de surface **permet leur retrait** mais augmente le **risque de migration et d'interférence avec l'appareil muco ciliaire**.

Les stents **non couverts** sont plutôt réservés à une utilisation au **long terme** car ils sont difficilement retirables (fig. 30).



Figure 30 : Deux stents Ultraflex™ couvert et non couvert (image reproduite avec l'autorisation de BOSTON SCIENTIFIC) d'après Boston Scientific. *Ultraflex Tracheobronchial Uncovered Stent System*.

Disponible pour une utilisation vétérinaire, ce type de stent sera développé plus longuement dans la partie IV.F..

Bilan :

Les **stents métalliques de deuxième génération** présentent plusieurs **avantages** permettant leur utilisation en cas de collapsus trachéal. En effet :

- Leur **mise en place et leur déploiement est facile** (sous fluoroscopie ou trachéoscopie)
- Leur **paroi est plus fine** que celle des stents en silicone ce qui **diminue l'altération des mouvements ciliaires**
- Les **forces radiales du stent** sur les parois sont **supérieures** ce qui **diminue le taux de migration**

3. Stent hybride

Les stents hybrides sont composés de **deux matériaux distincts**.

i. Stent Dynamic™ (Y)

i) Description

FREITAG, EICKER et LINZ en 1994 ont développé en médecine **humaine** de nouveaux stents pour tenter de résoudre les complications de ceux déjà présents sur le marché (migration, production de tissu de granulation et stase du mucus). Ils ont été posés chez l'homme en cas de **sténoses, de striction, de fistules trachéo-oesophagiennes ou de malacie**.

Les **stents Dynamic™ (Y)** sont en **silicone avec une armature en acier** en forme de fer à cheval et une **portion distale flexible** (fig. 31).



Figure 31 : Deux stents Dynamic™ (Y) (image reproduite avec l'autorisation de BOSTON SCIENTIFIC) d'après Boston Scientific. *Dynamic™ (Y) Stent*.

ii) *Avantages*

La **pose du stent est facile** et celui-ci permet une **amélioration immédiate de la dyspnée**. De plus, il est bien toléré par le patient (FREITAG et al, 1997).

La membrane **flexible** interfère peu avec l'appareil muco ciliaire. L'armature en acier est proche de l'anatomie de l'appareil respiratoire, la pression est donc mieux répartie sur la prothèse ce qui **diminue le risque de formation de tissu de granulation**. Enfin la forme en Y permet un **ancrage** au niveau de la carène bronchique ce qui **prévient les migrations**. Le stent DynamicTM (Y) est **stable en cas de compression extérieure**. Le silicone permet un **retrait** du stent, couramment pratiqué **chez l'homme** lorsque le problème créant la sténose est résolu (FREITAG, EICKER et LINZ, 1994).

iii) *Inconvénients*

Les **complications** directement liées au stent sont **rares** (3% de migration, 3% de toux deux jours après la chirurgie, 4% de tissu de granulation aux extrémités du stent, 1% d'accumulation de mucus dans le stent) (FREITAG et al, 1997).

iv) *Bilan*

Les **stents DynamicTM (Y)** sont utilisables chez l'homme lors de sténoses bénignes ou malignes, de striction, de fistules trachéo-oesophagiennes ou de malacie mais **aucune étude chez le chien** n'a encore été menée.

ii. **Stent PolyflexTM**

i) *Description*

Les stents PolyflexTM sont **auto-expansibles** et composés d'un **treillis en polyester** recouvert de **silicone** (fig. 32).



Figure 32 : Un stent PolyflexTM (image reproduite avec l'autorisation de BOSTON SCIENTIFIC) d'après Boston Scientific. *PolyflexTM Airway Stent*.

ii) *Avantages*

Ils ont été testés par BOLLIGER et son équipe en 1999 sur des cochons miniatures ayant une **sténose de 50 à 70% du diamètre trachéal**.

Ces stents sont **élastiques** et ont une **paroi** aussi **fine** qu'un stent métallique. **Le risque de migration est diminué ainsi que la formation de tissu de granulation.**

iii) *Inconvénients*

L'utilisation d'un **bronchoscope** est essentiel à la pose de ce stent et il est **peu radio opaque**.

La complication essentielle est malgré tout la **migration** (environ 83% des cas). L'ajout de **crochets aux extrémités** peut permettre d'éviter cet inconvénient. **Un tissu de granulation** en quantité modéré est aussi produit au niveau de toutes les extrémités. De plus, des **plissements de la couche de silicone** peuvent survenir (6%) ainsi qu'une **stase des sécrétions au niveau du stent (21%)** (BOLLIGER et al, 1999).

iv) *Bilan*

Trop peu d'études ayant été réalisées, leur mise en place chez le chien n'est pas envisageable.

Bilan :

Les stents hybrides essaient de compenser par une structure et une composition nouvelles les complications majeures des stents métalliques mais le **peu d'études chez le chien** ne confirme pas leur innocuité et leur efficacité dans le cadre du collapsus trachéal.

4. **Stents bioabsorbables**

i. **Description**

Ces stents sont des **spiraux ou des tubes tissés en acide polylactique**, ils sont **résorbés en environ 10 mois** (SUN et al, 2007). ZHU et son équipe en 2011 ont créé un stent bioabsorbable libérant de la **mitomycine C** (antinéoplasique) pour tenter de palier les problèmes de granulation, d'accumulation de mucus et la difficulté liée au retrait des stents chez l'homme.

ii. **Avantages**

Leur **biocompatibilité** au sein de la trachée cervicale a été testée sur des lapins par SAITO et son équipe en 2002. La **résistance mécanique** du stent bioabsorbable à la **compression augmente avec son diamètre**, en effet pour des petits diamètres, elle est supérieure pour des stents en silicone (SAITO et al, 2002).

iii. Inconvénients

Trois semaines après la pose des stents en acide polylactique 6,7% des lapins sont décédés suite à une anorexie (la mortalité n'était pas liée à une complication des stents), **l'épithélium cilié est préservé et une néovascularisation est visible** au sein de la sous-muqueuse trachéale. En comparaison, **37,4%** des animaux pour lesquels des **stents en silicone** ont été utilisés sont décédés car le stent a été **obstrué par du mucus**, l'épithélium cilié **n'étant pas préservé** autour du stent (SAITO et al, 2002).

Les stents bioabsorbables tubulaires diffusant 0,1 mg de mitomycine C entraînent une **sténose deux fois moins importante** qu'un stent en silicone (ZHU et al, 2011).

Bilan :

Les stents bioabsorbables sont intéressants en médecine **humaine** dans le cas de pathologies **temporaires obstruant l'appareil respiratoire** mais ils ne sont **pas envisageables pour le traitement du collapsus trachéal** qui est un traitement palliatif au long terme, le collapsus s'étendant au fil du temps.

Synthèse :

Les stents en silicone, hybrides et bioabsorbables ne sont **pas envisageables** pour traiter les **collapsus trachéaux** du fait des nombreuses complications relevées ou du faible nombre d'études en médecine vétérinaire

Cependant, **les stents métalliques de deuxième génération** présentent plusieurs **avantages** de par leur caractère auto-expansible qui rend **possible leur utilisation pour traiter cette pathologie**.

F. Les stents de nouvelles générations, disponibles en médecine vétérinaire

1. Stents métalliques de deuxième génération : Les stents en Nitinol

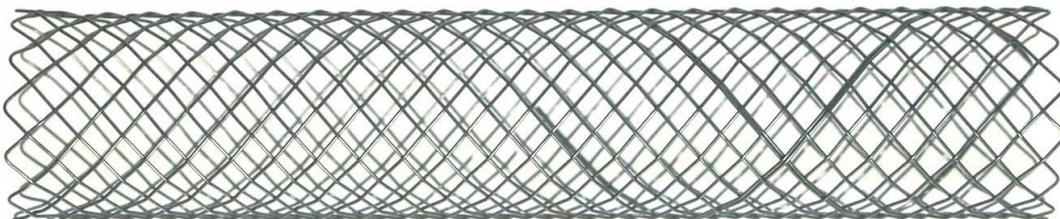


Figure 33 : Stent en Nitinol (image reproduite avec l'autorisation de DEXTRONIX).

i. Définition

Le Nitinol (NiTi) est un alliage équi-atomique de nickel et de titane. Ce métal est flexible, biocompatible et possède des propriétés physiques proches de celles des cartilages trachéaux. Cet alliage a été développé dans les années 1960 par The Naval Ordnance Laboratory (centre d'essais de l'US Navy) (STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003 ; Confluent Medical. *Nitinol Facts, Confluent Medical*)).

ii. Propriétés du Nitinol et applications médicales

i) *Différents types de stent en Nitinol*

En médecine humaine, le premier stent en Nitinol a été développé **par Charles Dotter en 1983** pour un usage **intra vasculaire**. Un fil en Nitinol était enroulé (spirale), un échauffement à 60°C par une solution saline était alors indispensable pour permettre la dilatation du stent au sein du vaisseau.

En **1988**, des stents formés **par laser dans un tube** furent alors créés pour une utilisation **coronaire et biliaire** (PELTON, STOCKEL et DUERIG, 2000). Ces stents sont désormais **les plus courants** et sont aussi utilisés en **intra-trachéal**. En effet les stents sous forme de **treillis** sont souvent **plus fins** et le **frottement** des différents brins peut entraîner leur **érosion ou une section non uniforme** (fig. 33). Pour leur mise en place, les stents sont **comprimés dans des dispositifs de largage**, ils sont ensuite **déposés** au sein de la trachée et **se déploient** au contact de la muqueuse (STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003).

Ces stents sont **auto-expansibles**, ce qui permet de les placer avec précision et ils ne sont **pas recapturables** au sein du dispositif de largage, une fois posés (MITTLEMAN et al, 2004). De plus, ils sont compatibles avec la **réalisation d'imagerie par résonance magnétique**.

ii) *Biocompatibilité*

Le Nitinol est un **alliage résistant à la corrosion** par formation d'une couche d'oxyde de titane à sa surface (l'indice de corrosion par piqûres est plus élevé pour le Nitinol par rapport à l'acier inoxydable). Cette résistance peut être augmentée par des **traitements de l'alliage** (electropolissage de surface).

De plus, il n'a **pas d'effets toxiques** et n'entraîne **pas l'inhibition de la croissance ou une prolifération des cellules à son contact**. Il est **très bien toléré** au sein du tissu musculaire (PELTON, STOCKEL et DUERIG, 2000 ; STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003).

Le Nitinol est donc un composé **biocompatible**.

iii) Superélasticité

Le Nitinol possède une **température de transformation de sa forme cristalline** qui dépend de la proportion de nickel et de titane de l'alliage et peut donc être choisie. À la **température ambiante**, il est présent classiquement sous une **forme cristalline appelée Austenite**.

Le Nitinol est « **superélastique** » (fig. 34) s'il est **déformé** à une température proche de sa **température de transformation**. Un **stress appliqué** entraîne alors un **changement dans sa structure** (il subit une phase de transformation et passe de l'*Austenite* à la forme cristalline *Martensite*) ce qui permet le **changement de forme**. Lorsque le stress est **levé**, la **structure repasse à la structure cristalline précédente (Austenite)**, le matériel **revient alors à sa forme initiale** (PELTON, STOCKEL et DUERIG, 2000 ; STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003 ; Johnson Matthey Medical Components. *Nitinol*).

À la **température du corps**, le stent peut donc subir une **déformation et revenir élastiquement à la forme initiale après la levée de la contrainte**. La propriété de superélasticité permet de diminuer la fatigue du matériau. Cette propriété est intéressante dans le cas du collapsus trachéal où des **forces vont être exercées sur le stent par les anneaux trachéaux déformés**. De plus, l'élasticité et la flexibilité des stents permet un placement facile et diminue le risque de migration.

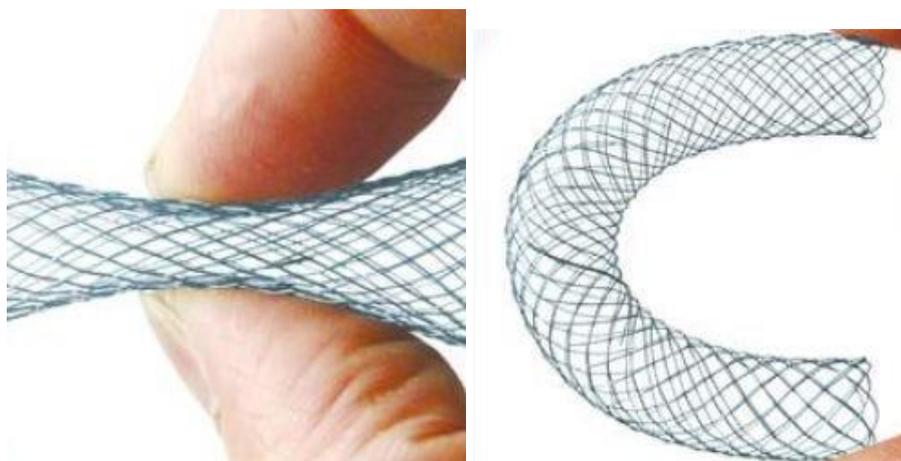


Figure 34 : La propriété de superélasticité des stents en Nitinol (image reproduite avec l'autorisation de SKWAZEL).

iv) Mémoire de forme

Quand un fil de Nitinol (*Austenite*) refroidit en dessous de la température de transformation, il subit une **phase de transformation thermoélastique** (il passe à la forme *Martensite*) lui donnant sa propriété de **mémoire de forme**.

Sous l'état *Martensite*, le Nitinol peut alors être **modélé et lorsqu'il est chauffé**, il passe à l'état *Austenite* et **garde ensuite sa forme**. Le stent peut donc être **déformé à basse température** et sa forme **initiale** peut être **restaurée en chauffant au-dessus de la température de transformation**. La température de transformation couramment utilisée est de **30°C**.

En dessous de 30°C, le stent peut être déformé et positionné dans le système de déploiement du stent (fig. 35). Le Nitinol présente une **expansion maximale à la température du corps** (STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003; Johnson Matthey Medical Components. *Nitinol*).

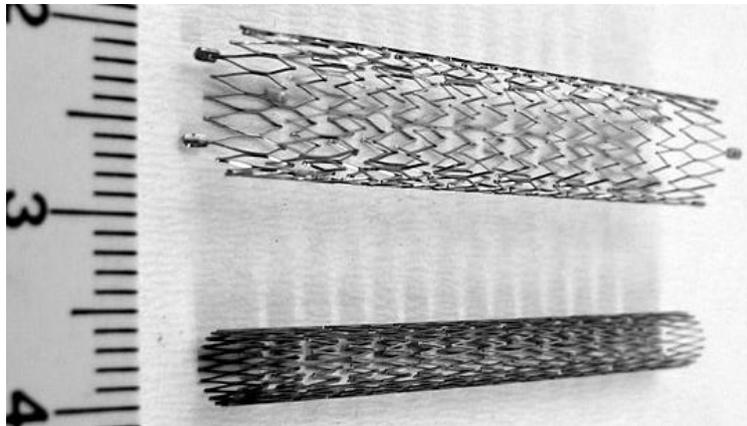


Figure 35 : Un stent auto-expansible déployé (haut de l'image) et le même type de stent comprimé (bas de l'image) (CC) d'après MULLER FC.

v) *Hystérésis élevée*

Contrairement à l'acier qui possède une relation linéaire entre la contrainte appliquée et la déformation engendrée lors de la contrainte, le **Nitinol possède une hystérésis élevée suite à une contrainte mécanique**. L'hystérésis correspond à un retard de l'effet sur la cause dans le comportement d'un corps soumis à une action physique.

Appliquée aux stents, **l'action physique correspond à un écrasement**, le stent en Nitinol va donc **revenir à sa forme initiale lentement** suite à une contrainte. Il possède donc une **très bonne résistance** en contrainte ou en déformation.

Comme nous pouvons le voir sur la figure 36, **lors de l'application d'une contrainte**, la déformation du stent augmente *linéairement* pendant un moment puis elle présente un plateau appelé *plateau de chargement* (une contrainte légère entraîne alors une augmentation très importante de la déformation). *La fin du plateau* correspond à 8% de déformation. **À la levée de la contrainte**, il existe rapidement un *plateau de déchargement*, c'est-à-dire qu'une levée minimale de la contrainte entraîne une forte diminution de la déformation.

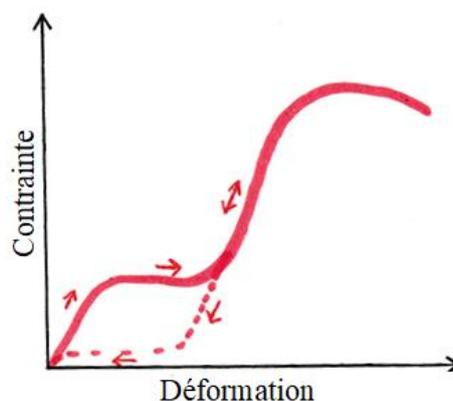


Figure 36 : Courbe contrainte-déformation du Nitinol d'après STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003.

La figure 37 présente les **forces développées par le stent à partir de son déploiement**. Le stent (ayant un diamètre plus large que la trachée cible (A)) est **inséré** dans le dispositif de largage (A-B). **Lors du déploiement (B-C)** les forces radiales du stent diminuent et son **diamètre augmente** jusqu'à ce qu'il soit au contact de la muqueuse (C). **L'expansion du stent est alors stoppée**, il ne peut reprendre sa forme initiale et exerce donc **une force chronique faible dirigée vers l'extérieur (COF)**. En cas de compression externe, des **forces radiales de réaction (RRF)** sont développées (C-D).

L'hystérésis élevée permet aux **forces chroniques faibles du stent (COF)**, dirigées vers l'extérieur (et entraînant son expansion continue) de rester relativement basses même en cas de déformation ou de stent surdimensionné. A l'inverse, les **forces radiales de réaction (RRF)** vont augmenter rapidement lors de déformation (C-D) jusqu'à ce que le *plateau de chargement* soit atteint (PELTON, STOCKEL et DUERIG, 2000 ; STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003).

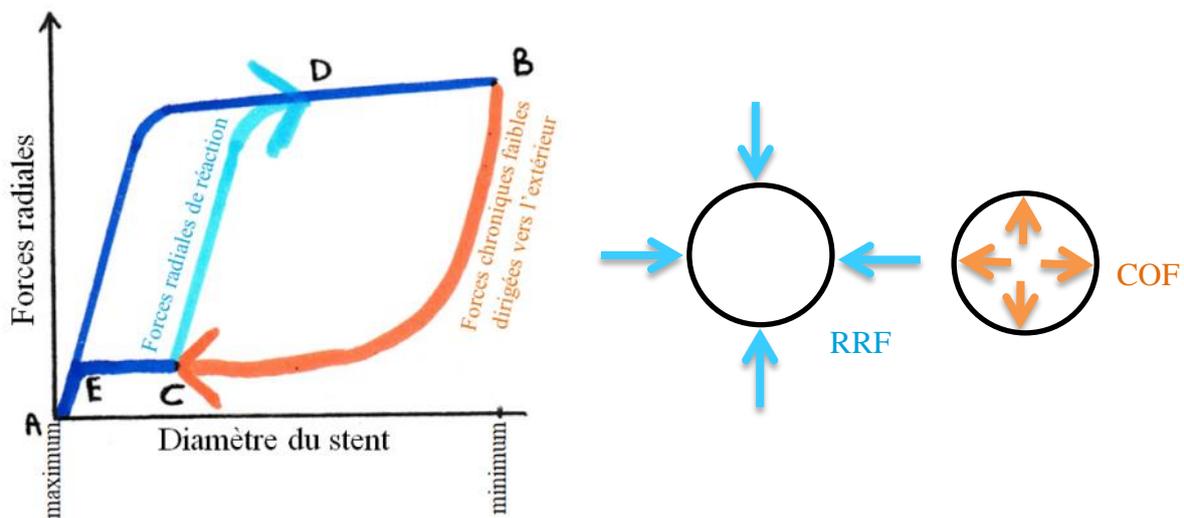


Figure 37 : Cycle de compression du stent dans le système de largage, son déploiement et les forces appliquées sur le stent, d'après STOECKEL, PELTON et DUERIG, 2003.

vi) *Radio-opacité*

Les stents en Nitinol sont **radio-opaques** grâce à des **marqueurs attachés ou intégrés à leur surface** (fig. 38) (en or, tantale ou une combinaison de platine et d'iridium déposés au-dessus d'une couche de polymère protégeant de la corrosion) (STOCKEL, PELTON et DUERIG, 2003).

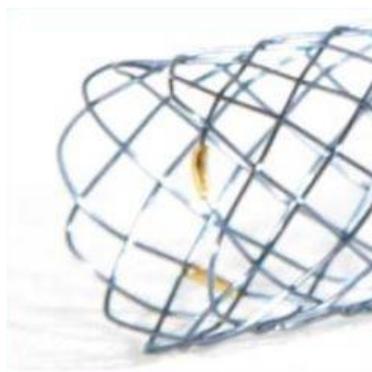


Figure 38 : Marqueurs radio opaques sur un stent (image reproduite avec l'autorisation de SKWAZEL).

Les stents en Nitinol sont des dispositifs **biocompatibles et radio-opaques** ; ce qui permet leur insertion et leur visualisation après la chirurgie. Les propriétés de **superplasticité et de mémoire de forme** du Nitinol ainsi que son **hystérésis élevée** lors d'une contrainte mécanique permettent **l'insertion du stent dans son dispositif de largage, son déploiement et son maintien** au niveau de la trachée du chien.

iii. Stents utilisés au sein de la trachée des chiens présentant un collapsus trachéal

Les stents **Ultraflex™** du laboratoire Boston Scientific sont utilisés en **médecine vétérinaire** et furent les **premiers stents** en Nitinol mis en place chez le chien (GELLASCH et al, 2002) (cf. IV.E.2.ii.).

Le laboratoire Infiniti Medical a développé une gamme de stents trachéaux vétérinaires, les **Vet Stent-Trachea®** en nitinol auto-expansibles et repositionnables (fig. 39).

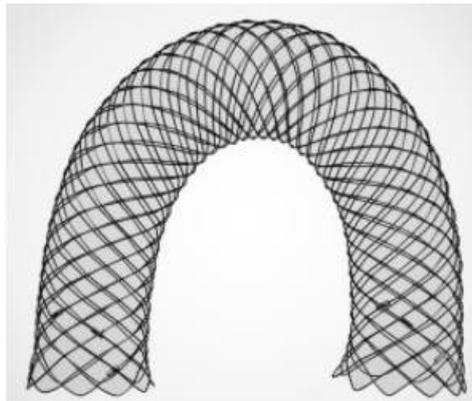


Figure 39 : Vet Stent-Trachea® (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. *Vet Stent-Trachea®*.

Le dernier modèle est le **Duality Vet Stent®** (fig. 40) ayant un **diamètre variable** sur sa longueur afin de s'adapter à la trachée des chiens présentant un collapsus trachéal, qui peut être non uniforme. Leur **surface a également été améliorée** afin d'augmenter la durée de vie du stent et de diminuer la réponse inflammatoire locale.

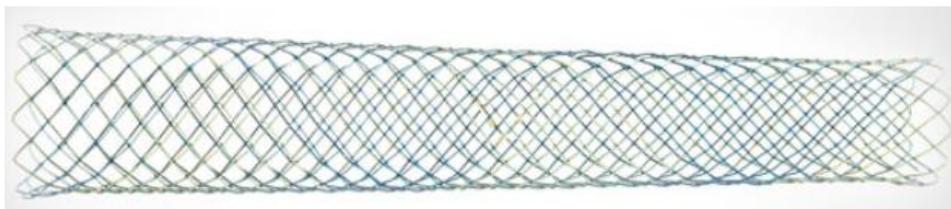


Figure 40 : Duality Vet Stent® (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. *Duality Vet Stent®*.

Le laboratoire Dextronix a développé le **DexStent-NT®** (fig. 41) distribué en France par le fournisseur Skwazel.

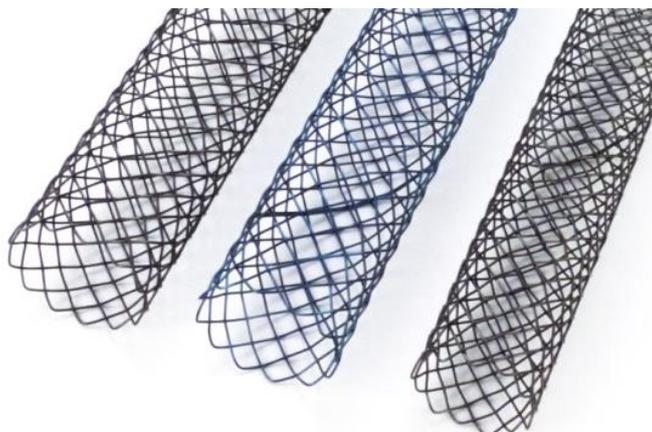


Figure 41 : DexStent-NT® de trois diamètres différents (image reproduite avec l'autorisation de SKWAZEL) d'après Skwazel. *Stents Vétérinaires*.

Le stent **DexStent-TC®** (fig. 42) a des extrémités à **diamètres variables**.

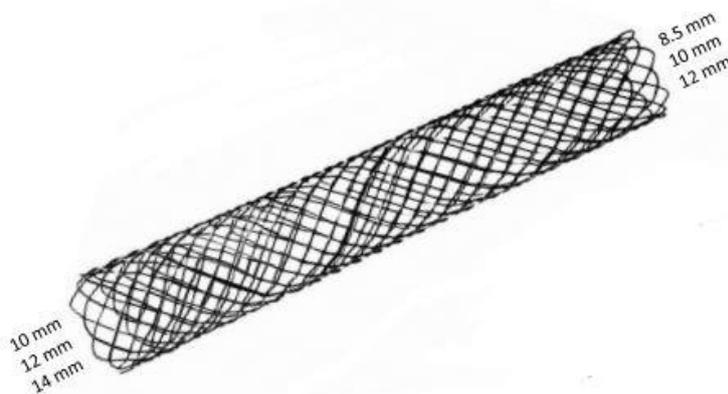


Figure 42 : Stent en Nitinol conique (DexStent-TC®) (image reproduite avec l'autorisation de SKWAZEL) d'après Skwazel. *Stents Vétérinaires*.

Plusieurs laboratoires **vétérinaires** (Infiniti Medical, Dextronix) ont développé des **gammes de stents** en Nitinol utilisables dans le traitement du collapsus trachéal du chien. Les stents **Ultraflex™** du laboratoire Boston Scientific, destinés à une application **humaine**, sont parfois utilisés.

iv. Mise en place du stent

i) Étapes de mise en place du stent

Une **anesthésie générale** est pratiquée sur le chien qui a été préalablement **oxygéné**. La **prémédication** est souvent réalisée en intra-musculaire afin d'éviter le stress lié à la pose d'un cathéter périphérique sur l'animal qui risque d'accentuer sa détresse respiratoire. Elle comporte classiquement du **butorphanol** (0,2-0,3 mg/kg) et de l'**acépromazine** (0,05-0,01 mg/kg).

L'induction est réalisée avec du **propofol** et du **diazépam** et un **relais gazeux** est ensuite mis en place. La **sonde endo-trachéale** insérée doit être **la plus large possible** afin de faciliter le passage du stent. Le chien est placé en **décubitus sternal**, le cou en extension afin que la trachée soit la plus droite possible.

Le stent est comprimé au sein d'un **dispositif de largage** (fig. 43 et 44). Ce dispositif est composé d'une **gaine plastique** qui entoure le stent et d'une **canule en métal** en son centre (fig. 43, 44 et 45). L'ensemble du dispositif est **stérilisé**.

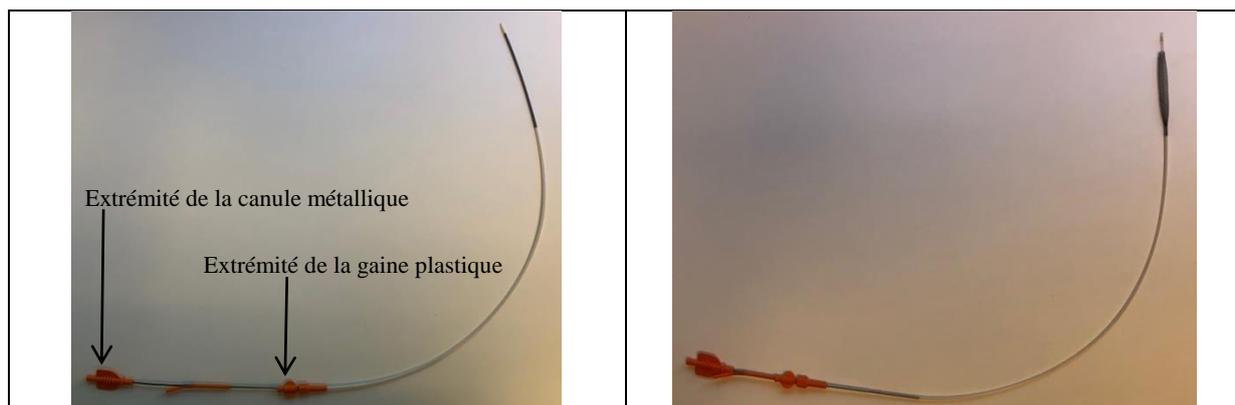


Figure 43 : Dispositif de largage du DexStent-NT®. A gauche le stent est entièrement inséré dans le dispositif, à droite, il est en partie extériorisé (images reproduites avec l'autorisation de DEXTRONIX).

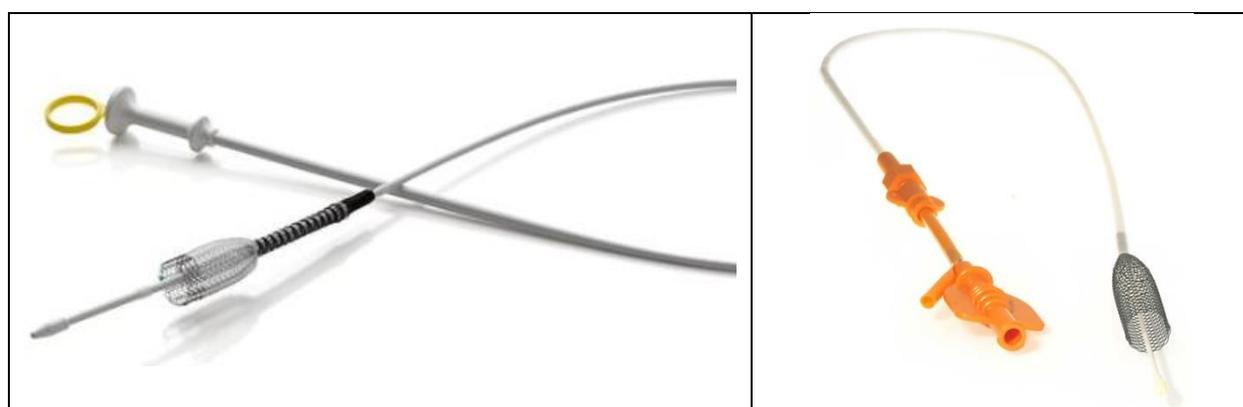


Figure 44 : Dispositif de largage de l'Ultraflex® (à gauche) et du DexStent-NT® (à droite) (images reproduite avec les autorisations de BOSTON SCIENTIFIC et de DEXTRONIX) d'après Boston Scientific. *Ultraflex Tracheobronchial Uncovered Stent System.*

Le stent choisi (le choix du stent approprié sera développé dans la partie IV.G.) est **flushé** avec une solution cristalloïde stérile. Un **adaptateur** à trois ports de bronchoscope peut être mis en place à l'extrémité orale de la sonde endo-trachéale, un port est connecté à la sonde, un port à la machine d'anesthésie et un dernier permet l'insertion du stent (WEISSE, 2008).

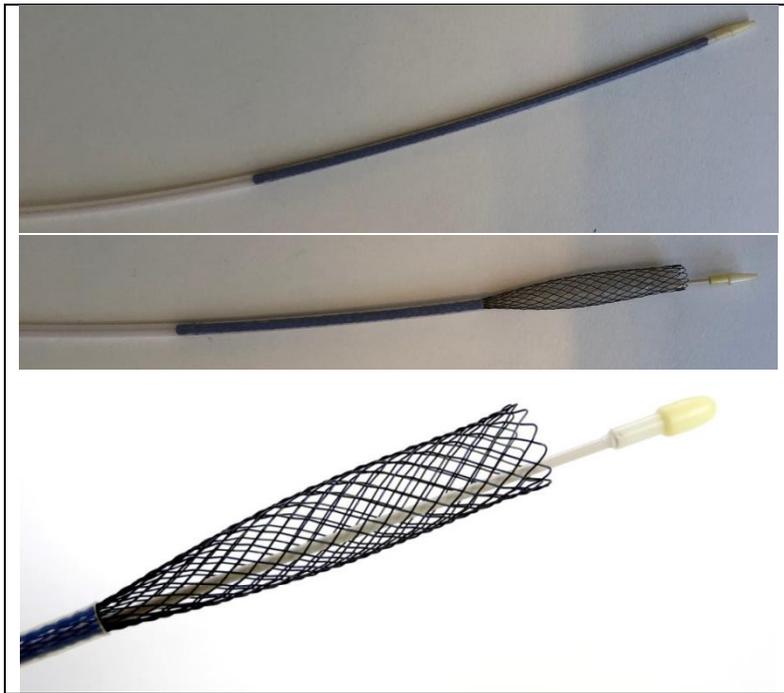


Figure 45 : Extrémité distale du dispositif de largage du DexStent-NT®. Sur l'image du haut, le stent est entièrement inséré dans le dispositif, sur les deux images du bas, il est en partie extériorisé par le retrait de la gaine externe (images reproduites avec l'autorisation de DEXTRONIX).

Deux techniques peuvent ensuite être utilisées pour placer le stent :

Fluoroscopie : le stent étant radio-opaque, l'avancée du stent ainsi que son **déploiement** peuvent être suivis via cette technique d'imagerie médicale. Un **cathéter radio-opaque gradué** peut être placé **dans l'œsophage** pour plus de précision. Le placement est simple et sans complications (MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004 ; KIM et al, 2008).

Endoscopie : l'endoscope permet une **visualisation directe de la trachée** durant la **pose du stent** (fig. 46) ce qui diminue les **erreurs de placement**. Cette technique est **rapide** (20 minutes de pose) et **évite l'exposition aux rayonnements** pour le vétérinaire et l'animal. Il existe un risque de **mauvais positionnement** pour la partie crâniale selon DURANT et son équipe, en 2012. L'endoscope utilisé peut être **rigide ou souple** (SAAD et al, 2003).

Enfin, différentes études ont placé des stents en utilisant les deux techniques en parallèle (GELLASCH et al, 2002 ; SURA et KRAHWINKEL, 2008).



Figure 46 : Vue endoscopique de l'extrémité distale du dispositif de largage du stent au sein de la trachée. Service de Médecine, VetAgro-Sup.

Déploiement du stent : une fois l'**extrémité distale** du stent à la place désirée, une main tient l'extrémité de la **canule métallique** et l'autre main celle de la **gaine plastique** (fig. 43). La canule est alors doucement **avancée distalement** et la gaine **reculée simultanément** ce qui permet la **libération et le déploiement du stent** dans la trachée (fig. 47). Un contrôle de la position doit être effectué au cours du placement afin de pouvoir réinsérer le stent dans la gaine et le replacer si besoin.

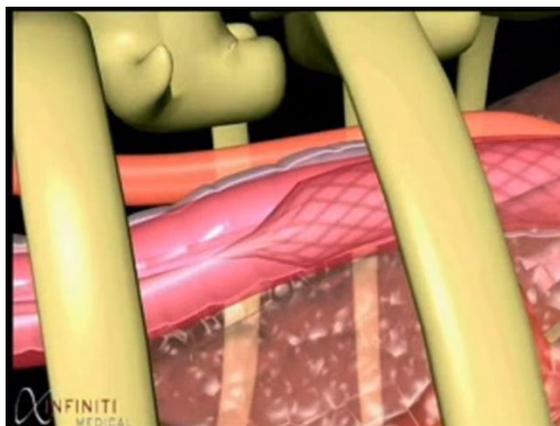


Figure 47 : Déploiement du stent (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. *Vet Stent-Trachea*®.

Le dispositif de largage est alors **retiré avec précaution**.

ii) Complications possibles durant le déploiement

Au cours de l'étude de DURANT et son équipe en 2012, **17%** des animaux ont eu une **complication** lors du déploiement du stent. Le stent peut être déplacé suite à un **mouvement de l'endoscope**, une recapture est nécessaire afin de corriger sa position. Un stent a été placé **trop caudalement**, des forceps sont alors nécessaires pour le retirer ce qui rend la manœuvre très délicate. Enfin, un dernier stent a été **expectoré directement** après sa pose, la taille avait donc été sous évaluée.

Les **hypothèses** concernant ces complications sont qu'une **trachée non uniforme** ou une **contre-pression excessive** au cours du déploiement peut entraîner un **étirement du stent** et donc une **expansion inadéquate**. Il est important **d'éviter au maximum les mouvements du bronchoscope** durant le déploiement. De plus, **sans cathéter de marquage oesophagien**, le placement n'est **pas optimal dans 50%** des cas. Une paralysie du larynx provoquée peut permettre une mise en place plus précise (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

iii) Résultat

Après la pose du stent, il est nécessaire de **contrôler si le déploiement du stent a été optimal** (exemple de la figure 48) **et sa position** au sein de la trachée.

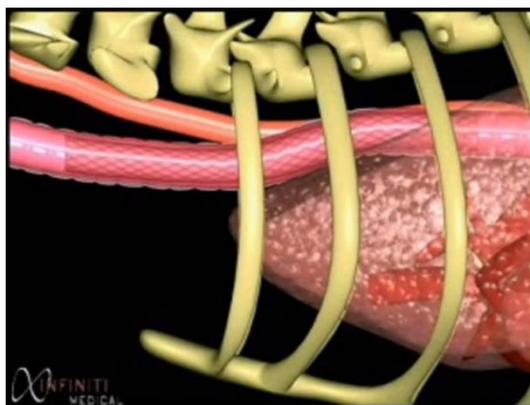


Figure 48 : Stent en Nitinol en place au sein de la trachée (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. Vet Stent-Trachea®.

Ce contrôle est réalisé avec un **endoscope** (fig. 49) ou via des **radiographies** (fig. 50).

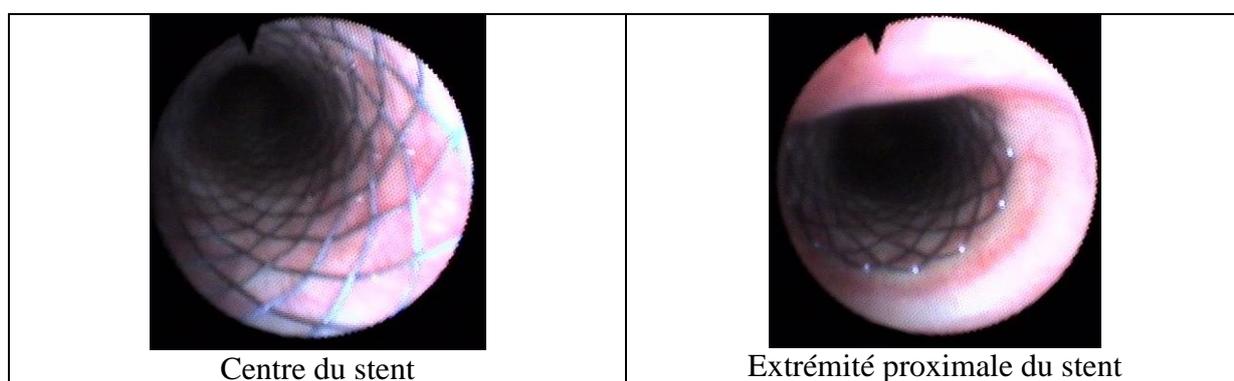


Figure 49 : Trachéoscopie montrant un stent en place au sein de la trachée. Service de Médecine, VetAgro-Sup.

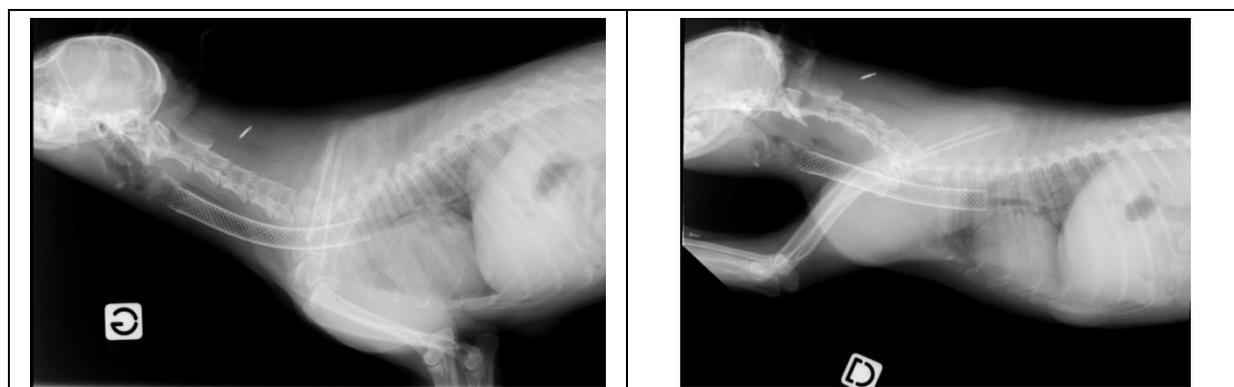


Figure 50 : Radiographies de contrôle suite à la pose d'un stent trachéal. Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

L'animal est ensuite réveillé idéalement sous **oxygène**. **Des soins intensifs de courte durée** sont parfois nécessaires et le chien est rendu à ses propriétaires un à deux jours après la chirurgie. Un traitement à base d'**anti inflammatoire stéroïdien** (prednisolone 1-2 mg/kg/j PO initialement puis à dose dégressive) **et antitussifs** (hydroconone 0,25 mg/kg 2 à 4 fois par jour PO) est généralement recommandé et des **suivis réguliers** sont ensuite réalisés selon la réponse du patient (WEISSE, 2008).

Le chien est **endormi** puis le **stent dans son dispositif de largage est inséré** dans la trachée sous **fluoroscopie ou endoscopie**. Le stent est **déployé sous contrôle de sa position**. **Un traitement médical est conseillé** dans les semaines suivant l'opération.

v. Avantages

Le stent peut être placé au sein de la **trachée intra et extra-thoracique**, il n'existe **pas de contre-indications majeures à sa pose**. La chirurgie est **très peu invasive**, **aucune dissection chirurgicale** n'étant nécessaire, il n'y a donc pas de risque de léser des vaisseaux sanguins ou les nerfs laryngés récurrents (MITTLEMAN et al, 2004).

La **durée d'anesthésie est courte** (inférieure à une heure), la pose du stent étant **facile** et durant en général 10 à 20 minutes (HWANG et al, 2001 ; MITTLEMAN et al, 2004).

Il est possible de s'adapter à **plusieurs tailles de trachée** (de nombreux diamètres existent) et à des **conformations trachéales différentes** (exemple du DexStent-TC[®] d'infiniti médical, possédant des extrémités de diamètres différents) (MITTLEMAN et al, 2004). Les migrations sont moins importantes avec ces stents évasés (DexStent-TC[®]) (KIM et al, 2008).

La plupart du temps, les stents sont **bien tolérés** par le receveur et certaines **complications** des anneaux extra-trachéaux ou des anciennes générations de stent sont **évités**. Par exemple, les stents n'entraînent pas de pneumomédiastin contrairement aux wallstent grâce à leurs extrémités non traumatiques (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, en 2004). Aucune paralysie laryngée, nécrose trachéale, cicatrice, douleur chirurgicale ne sont relevées lors de l'étude de SURA et KRAHWINKEL en 2008.

Le soulagement de l'animal est rapide et important et la durée d'hospitalisation post opératoire est généralement courte (1 à 2 jours). De plus il n'y a **pas de différences** en termes de **résultat selon l'âge de pose du stent** (SURA et KRAHWINKEL, 2008). Les stents entraînent une **bonne amélioration des signes cliniques à long terme** (BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013).

Cette technique est intéressante en cas de collapsus trachéal **avancé ne répondant pas au traitement médical**.

La mise en place d'un stent est une chirurgie **rapide et peu invasive** qui apporte rapidement une **amélioration clinique**. Les **différentes gammes** de stent permettent un **choix précis** et une **diminution des complications**.

vi. Survie à court et long terme

Concernant la **survie** des chiens après une chirurgie de pose de stent, une étude sur vingt-sept chiens menée par ROSENHECK et son équipe, en 2017, montre une **médiane de survie à 543 jours**, une **mortalité à moins d'un mois de 18,5% dont 48 à 56% liée à un problème respiratoire** (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

La **survie de six mois à un an** varie de **60 à 78%** selon les études. Elle atteint 83% à plus d'un an selon l'étude de ROSENHECK et son équipe en 2017 et est proche de la survie obtenue avec les anneaux extra-trachéaux (TANGNER et HOBSON, 1982 ; BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996). La **survie à deux ans** varie entre **26% et 58%** (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; ROSENHECK et al, 2017).

Les anneaux extra-trachéaux et les stents sont comparables en termes de **survie à plus d'un an** (83% pour les stents et 75 à 85% pour les anneaux extra-trachéaux) (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; WHITE 1995).

En cas de **complication**, la **médiane de survie est de 208 jours** par rapport à 543 jours sans complication mais la **différence observée n'est pas significative**. Cependant, elle est proche d'être significative, il semble que la **survie est donc moins favorable en cas de complication** (ROSENHECK et al, 2017).

La médiane de survie est de 543 jours après une chirurgie de pose d'un stent, elle semble moins favorable en cas de complication. **De 6 mois à 1 an, la survie varie entre 60 à 78%.**

vii. Inconvénients

Les stents ont plusieurs **inconvénients**. Tout d'abord, une fois posés, **ils ne peuvent pas être recapturés** par le dispositif de largage afin d'être **enlevés ou déplacés** (MITTLEMAN et al, 2004). De plus, la **progression du collapsus est inévitable**, la pose d'un stent reste un traitement uniquement **palliatif**. Enfin, les stents peuvent entraîner des complications. Dans **37%** des cas ils entraînent des **complications majeures** qui nécessitent une hospitalisation, une nouvelle chirurgie de l'animal ou qui entraînent son décès (ROSENHECK et al, 2017). Pour **17%** des propriétaires, le **résultat** immédiatement après la chirurgie de leur animal est **mauvais** (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

i) *Complications mineures*

Des complications mineures pouvant être rencontrées suite à la pose d'un stent trachéal sont une **trachéite, de la toux**, le besoin d'une **supplémentation en dioxygène** plus de 24 heures, une **intolérance à l'effort ou à l'excitation**. Elles peuvent être classées comme mineures car elles n'obligent pas une hospitalisation longue de l'animal ou une nouvelle chirurgie. Elles sont rencontrées dans **80% des cas** (TINGA et al, 2014).

a. Trachéite et hyperplasie de la muqueuse

Selon les études, **42 à 58%** des chiens développent une **trachéite** après la pose d'un stent. Ce résultat est proche des cas de trachéites attribuées à l'utilisation des **Wallstent** (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; DURANT et al, 2012 ; MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004). Une **hyperplasie de la muqueuse** est mise en évidence dans **33%** des cas (DURANT et al, 2012).

b. Toux

Dans l'étude menée par DURANT et son équipe, en 2012, **50%** des propriétaires rapportent un **résultat moyen** de la chirurgie car leurs animaux **continuent à tousser ou à recevoir un traitement médical**. On remarque que la mise en place d'un stent tend à **contrôler le collapsus trachéal** mais **pas forcément la toux elle-même** car celle-ci peut être liée à d'autres facteurs.

Cette toux **est toutefois à contrôler** car elle peut mener à des complications plus sévères comme des migrations, des fractures du stent, un prolapsus rectal ou une hernie périnéale (DURANT et al, 2012).

c. Pneumonie

Des pneumonies compliquent les chirurgies de pose de stents dans **15% des cas** (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; ROSENHECK et al, 2017). Cette complication survient également sur des stents **recouvert de polyuréthane** dans la même proportion (HWANG et al, 2001).

Solutions envisagées :

Un traitement médical à base d'**antibiotiques et d'antitussifs** est instauré mais certains animaux **n'y répondent pas bien** (DURANT et al, 2012 ; ROSENHECK et al, 2017). Des **antitussifs** sont généralement prescrits pendant **3 à 4 semaines après la pose d'un stent** (GIBSON, 2009).

ii) Interférence avec l'appareil muco ciliaire et production excessive de mucus

Si l'**incorporation du stent dans la muqueuse n'est pas optimale**, il se produit une accumulation de mucus, une inhibition des défenses naturelles et un risque de biofilm sur les parties non intégrées du stent. De plus, l'utilisation d'un **stent couvert** provoque une **augmentation des sécrétions** de l'appareil respiratoire. Ces éléments entraînent une **interférence avec la clairance muco ciliaire qui se trouve diminuée** (SURA et KRAHWINKEL, 2008). La pose du stent est donc **déconseillée** chez les chiens atteints d'une **infection respiratoire** (MITTLEMAN et al, 2004).

Solutions envisagées :

Le **choix du stent** est primordial et sera développé dans la partie IV.G. Il est préférable **d'éviter les stents couverts** pour éviter cet inconvénient.

iii) *Fracture et déformation*

Une des complications majeures est la **fracture ou la déformation du stent** (fig. 51). Des études de cas ont mis en évidence la possibilité d'une fracture de stent entre **6 semaines et 5 mois** après l'opération (MITTLEMAN et al, 2004 ; OUELLET et al, 2006). Ces fractures ont souvent lieu au niveau de l'entrée du thorax, dans les **zones les plus mobiles de la trachée** et elles induisent des **signes cliniques variables** (toux, détresse respiratoire, cyanose ou peu de signes si la fracture ne conduit pas à une nouvelle obstruction trachéale).

Le stent fracturé peut entraîner une **hyperhémie de la muqueuse** ainsi que des **ulcérations et la formation de tissu de granulation** au contact du métal sectionné.

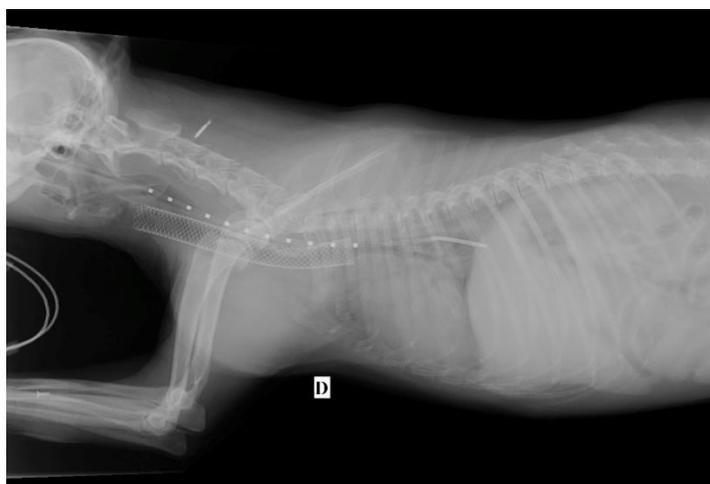


Figure 51 : Radiographie d'un chien dont le stent trachéal est déformé et fracturé au niveau de l'entrée du thorax.
Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

En 2007, WOO et son équipe ont posé sur un Yorkshire un **stent biliaire** (biliary stent) avec des **crochets aux extrémités** évitant les migrations qui s'est **fracturé** quatre semaines plus tard au niveau de l'entrée du thorax. Le Biliary stent n'est donc **pas adapté à une zone de mouvements**.

La pose de **stents humains artériels** au sein de la trachée a entraîné une fracture dans **26,9% des cas** (entre 1 et 24 mois). Deux des animaux ont été euthanasiés à la suite de cette complication (BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013)

Selon les études, **4 à 44% des stents se fracturent**. La **région crâniale de la trachée et l'entrée du thorax** sont majoritairement concernées (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; DURANT et al, 2012 ; TINGA et al, 2014 ; ROSENHECK et al, 2017). La **déformation seule** du stent s'élève à **4%** (ROSENHECK et al, 2017).

Hypothèses concernant les causes de fractures et déformations :

Les **forces radiales de réaction** appliquées sur le stent sont **plus fortes** au niveau des **zones collabées**. La **progression de la trachéomalacie** de part et d'autre du stent peut entraîner une augmentation de ces mêmes forces aux extrémités des stents. Ces forces supérieures **fragilisent le métal** et peuvent conduire à des fractures de celui-ci (BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013).

Les forces appliquées sur le stent durant la toux ne sont pas connues mais sont peut-être impliquées dans le mécanisme de fracture de celui-ci (OUELLET et al, 2006). La toux va entraîner une fatigue du métal qui pourra plus facilement se léser (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

Solutions envisagées :

Tout d'abord, en prévention, l'utilisation d'**antitussifs** dans les semaines suivant la chirurgie permet de prévenir une fatigue excessive du métal. La mise en place d'un stent **tubulaire en Nitinol tissé à deux brins, non couvert**, au niveau de l'entrée du thorax, associé à un **traitement médical** à base d'anti-inflammatoire et d'antitussifs chez un Bichon Maltais de six ans **n'a pas entraîné de fracture** durant les six mois de l'étude. Le choix de la **longueur et de la taille** du stent est important. De plus, la pose d'un stent sur l'**ensemble** de la trachée ou le fait que ses **extrémités** soient dans des **zones non collabées** semblent diminuer le risque de fracture selon BERANEK, JERESOVA et RYTZ en 2013.

On remarque de moins en moins de cas de **fracture de stent** dans les études récentes, leurs **diamètres** et leurs **longueurs** étant peut-être choisis avec plus de précision.

- Résection et anastomose trachéale, pose d'anneaux extra trachéaux

Dans trois cas cliniques de fracture, la **résection** du stent et l'**anastomose de la trachée** ont été réalisées et des **anneaux extra-trachéaux** ont été placés de part et d'autre du site d'anastomose. (MITTLEMAN et al, 2004 ; WOO et al, 2007 ; ROSENHECK et al, 2017). Deux des chiens n'ont pas survécus et sont décédés deux jours après la chirurgie à la suite d'une **rupture des sutures trachéales**. Cette technique semble **peu efficace** pour gérer cette complication.

- Mise en place d'un nouveau stent sur le site du stent fracturé

Il n'existe **pas de différences cliniques** en post opératoire immédiat ou à plus long terme entre les chiens présentant un seul stent ou plusieurs stents dans la trachée, le facteur limitant est surtout le coût (BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013).

La mise en place d'un nouveau stent sur le site du stent fracturé (fig. 52) permet une **résolution des signes cliniques et un allongement de la durée de vie de l'animal** (OUELLET et al, 2006).

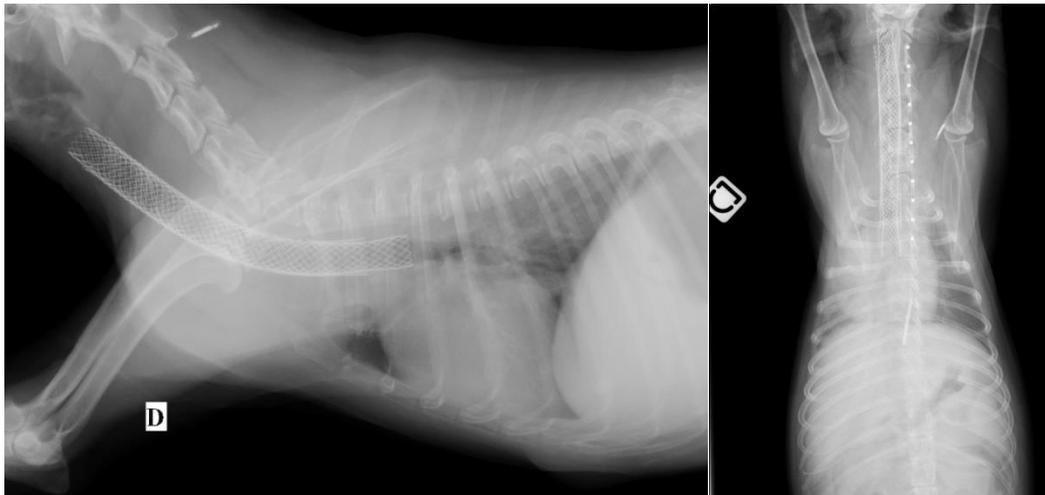


Figure 52 : Radiographies d'un chien suite à la pose d'un deuxième stent trachéal au sein du premier (vue latérale droite (image de gauche) et vue ventro-dorsale (image de droite). Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

Un chien de l'étude de ROSENHECK et son équipe, en 2017 a survécu **plus de 13 mois** grâce à cette chirurgie. **Un traitement médical** est souvent nécessaire en parallèle. Le placement d'un **nouveau stent** a été un succès pour **31%** des animaux de l'étude de BERANEK, JERESOVA et RYTZ en 2013 dont le premier stent était fracturé.

- Mise en place d'un nouveau stent sur le site du stent fracturé et pose d'anneaux extra-trachéaux

Un retrait partiel de la partie fracturée du stent (par trachéotomie) ainsi que le placement d'un **nouveau stent et d'anneaux extra-trachéaux** a été réalisé **avec succès** sur un cas de l'étude de SURA et KRAHWINKEL en 2008.

iv) *Granulome*

La formation de tissu de granulation est fréquente au niveau des extrémités des stents. Cette prolifération a été visualisée lors de la **pose de stent en nitinol** recouvert de **polyuréthane** sur des chiens sains. **Le retrait** du stent a entraîné une **régression du tissu de granulation et de l'inflammation en 15 jours** (HWANG et al 2001).

Cette complication touche 15% des animaux lors de la mise en place de **stent artériels** en Nitinol destinés à l'humaine (BERANEK, JARESOVA et RYTZ, 2013).

Pour des stents en Nitinol **vétérinaires**, les **granulomes** surviennent dans **7 à 18,5 %** des cas, parfois en parallèle d'une fracture de stent qui entraîne un **traumatisme au niveau de la muqueuse** et en moyenne **9,5 mois après la chirurgie** (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; TINGA et al, 2014 ; ROSENHECK et al, 2017). Les Wallstent génèrent plus de tissus de granulation que les stents en Nitinol actuels (28%) (MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004). On remarque enfin que cette complication intervient essentiellement sur des **stents non couverts** (WANG et al, 2016).

Solutions envisagées :

Une bonne réponse aux **anti-inflammatoires stéroïdiens** est notée pour traiter la prolifération de tissu de granulation (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; BERANEK, JARESOVA et RYTZ, 2013).

Une **sténose** par du tissu de granulation à l'extrémité proximale du stent et sa **prolifération focale** au centre du stent a eu lieu chez un chien yorkshire présentant un collapsus trachéal sévère, 24 semaines après la pose du stent. Le **traitement médical** à base de prednisolone et de butorphanol est complété par de la **doxycycline** (6,75 mg/kg PO SID 30 jours) et de la **colchicine** (0,03 mg/kg PO SID), une molécule inhibant l'assemblage des microtubules. A la quarantième semaine, une **régression** du tissu de granulation et une **diminution de la sténose** sont observables et à la soixante-quatrième semaine, **aucun** tissu de granulation **n'est visible** et l'épithélialisation du stent est normale (BROWN, WILLIAMS et SAYLOR, 2008). Cependant, dans l'étude de ROSENHECK et son équipe en 2017, la colchicine a été **testée** pour traiter la prolifération de tissu de granulation sur deux chiens, **sans résultat**.

Dans une étude expérimentale destinée à la médecine **humaine**, des stents en Nitinol sont trempés 24 heures dans une solution de **paclitaxel** et sont ensuite insérés dans la trachée de plusieurs chiens. Le paclitaxel est une molécule **antiproliférative** agissant contre les cellules musculaires lisses des vaisseaux, les **fibroblastes** et les cellules endothéliales. Son application locale n'a **pas une toxicité systémique** significative. En comparaison avec des stents en Nitinol non recouverts, les stents au paclitaxel **réduisent significativement la production de tissu de granulation** au niveau du stent.

Cependant le stent **délivre la majorité de la molécule le premier mois** (70,9%) puis la libération **diminue progressivement** pour atteindre 98,5% de libération de la molécule au bout de 5 mois. Cette période de libération peut être **ajustée** en modifiant le ratio de solvant au sein de la solution initiale de paclitaxel mais **la libération sera toujours sur un temps court** ce qui est **problématique** dans le cas d'un stent mis en place lors d'un collapsus trachéal (WANG et al, 2016).

v) *Migration*

La migration d'un stent est une complication **fréquente** qui intervient dans 4 à 35% des cas, majoritairement dans le cas de stents **couverts** (HWANG et al, 2001 ; ROSENHECK et al, 2017). Ces derniers ne sont pas assez ancrés par les forces chroniques faibles du stent. Ces migrations peuvent intervenir notamment lorsque le stent est **sous-dimensionné**.

Solutions envisagées :

Le choix de la **taille** du stent est primordial et sera développé dans la partie IV.G.. On peut voir que la mise en place d'un stent en Nitinol avec des **extrémités évasées** a permis d'éviter les migrations et d'augmenter sa stabilité (KIM et al, 2008).

vi) Raccourcissement trop important du stent après sa pose

On remarque que la **longueur des stents diminue avec le temps**. En effet dans 11,5 à 89 % des cas, cette longueur est plus courte plusieurs mois après la pose du stent que juste au moment de son déploiement (BERANEK, JARESOVA et RYTZ, 2013 ; ROSENHECK et al, 2017). Ce raccourcissement **entraîne parfois des signes cliniques**, il peut aussi être **sans conséquences** (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; DURANT et al, 2012).

Solutions envisagées :

En prévention, le **choix d'une taille optimale** de stent permet d'éviter le raccourcissement. Sinon, le **placement d'un nouveau stent au centre du premier** permet de corriger la taille de la portion soutenue par des prothèses endo-luminales. Il est alors envisageable si le raccourcissement entraîne une **récurrence des signes cliniques** du collapsus trachéal (BERANEK, JARESOVA et RYTZ, 2013).

vii) Diamètre de la trachée plus large que le diamètre du stent et risque d'expectoration des stents

Parfois, le choix d'un stent **sous-dimensionné** ou d'un stent **couvert** va entraîner un mauvais contact entre le stent et la muqueuse trachéale. Il y a alors un risque de **migration, d'expectoration** (10% des animaux de l'étude de HWANG et son équipe en 2001) et de **mauvaise épithélialisation** du stent. Dans l'étude de DURANT et al, en 2012, 89% des stents étaient ainsi sous-dimensionnés.

Solutions envisagées :

Le choix du **stent de taille adaptée** est primordial.

viii) Délogement d'un thrombus

Un Berger des Shetland de 9 ans a présenté, après une cholecystectomie, un collapsus trachéal modéré à sévère à l'entrée du thorax. Un stent en Nitinol a été posé et une heure après l'extubation, une hypoxémie ne répondant pas à l'administration d'oxygène est survenue. Une **thrombo-embolie pulmonaire ne répondant pas à l'oxygène et un thrombus dans l'atrium droit** ont été mis en évidence conduisant à l'euthanasie du chien (PRESTON et SULLIVAN, 2016).

Solutions envisagées :

Cet animal avait un **risque plus élevé de formation d'un thrombus** (chirurgie biliaire récente, hyperadrenocorticisme iatrogénique et traitement anti-inflammatoire stéroïdien). Il convient d'être **prudent** lors de la pose du stent sur **des animaux présentant un tel risque**. Une **thrombolyse** peut par la suite être envisagée si l'état général de l'animal le permet (PRESTON et SULLIVAN, 2016). Le pronostic d'un tel cas clinique est cependant très réservé.

ix) Nouveau collapsus trachéal

Le collapsus trachéal étant un **processus évolutif**, une **nouvelle zone de la trachée peut être affectée** par une flaccidité trachéale. Dans l'étude de TINGA et son équipe en 2014, une **nouvelle intervention chirurgicale** a été nécessaire dans 3% des cas afin de corriger un nouveau collapsus.

Dans le cas d'un chien ayant un collapsus des **bronches principales**, il arrive parfois qu'un **nouveau collapsus** se mette en place au niveau de **la trachée**. Il est possible que la diminution de l'écoulement d'air au sein des bronches entraîne une pression dans les voies respiratoires inférieures supérieure à la pression pleurale. La pression dans les voies respiratoires en amont de l'obstruction bronchique (au niveau de la carène bronchique), devient alors inférieure à la pression pleurale et génère le collapsus trachéal (OUELLET et al, 2006).

Solutions envisagées :

La pose d'un nouveau stent peut là encore pallier cette complication (GELLASCH et al, 2002 ; OUELLET et al, 2006 ; SURA et KRAHWINKEL, 2008).

x) Paralysie laryngée

Cette complication est mise en évidence dans l'étude de TINGA et son équipe, en 2014. Elle est **peu courante** et est survenue dans 3% des cas de l'étude. Il semblerait que la paralysie était dans ce cas une **pathologie concomitante qui n'avait pas été diagnostiquée au préalable**. Une **prise en charge chirurgicale** telle qu'elle a été détaillée dans la partie consacrée aux anneaux extra-trachéaux est envisageable (cf. III.F.2.iv.Φ.).

De nombreuses **complications** peuvent survenir à la suite de la pose d'un stent. Un **traitement médical** est indispensable après la chirurgie car la **toux** reste très fréquente. La **fracture**, la **migration** du stent et la formation de **tissu de granulation** dans la trachée sont les **complications majeures** les plus courantes. La **pose d'un nouveau stent** est la solution la plus efficace pour contrer ces inconvénients, le **coût reste le facteur décisif** la plupart du temps, la pose d'un second stent n'entraînant pas de problèmes médicaux supplémentaires.

viii. Comparaison avec les anneaux extra-trachéaux

Les anneaux extra-trachéaux entraînent de la **toux ou des épisodes de dyspnée** dans 31,1% des cas. Cet inconvénient est **plus présent** chez les chiens ayant reçu un **stent** (BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; DURANT et al, 2012). Les propriétaires **jugent souvent plus favorablement** la réussite des anneaux extra-trachéaux car les chiens n'ont **plus forcément besoin d'un traitement médical** par la suite, 65% des chiens sont sevrés en médicaments deux semaines après la chirurgie (TINGA et al, 2014 ; CHISNELL et PARDO, 2015).

L'étude de TINGA et son équipe en 2014 révèle un taux de survie moins longue pour les stents que pour les anneaux extra-trachéaux. Cependant, on peut remarquer que **les chiens sélectionnés pour la pose des anneaux extra-trachéaux** étaient plus **jeunes**, ne présentaient **pas de bronchomalacie** concomitante et étaient beaucoup plus **nombreux** (48 par rapport aux 8 chiens sur lesquels des stents sont posés). Il semble que la **survie inférieure** des chiens avec un stent peut aussi être imputée à leur **âge plus élevé et à la bronchomalacie additionnelle**.

Les deux techniques ; anneaux extra-trachéaux et stents sont donc **comparables en termes de survie à plus d'un an** (83% pour les stents et 75 à 85% pour les anneaux extra-trachéaux). **Le taux de complication est élevé dans les deux cas** (WHITE 1995 ; BUBACK, BOOTHE et HOBSON, 1996 ; SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; TINGA et al, 2014).

Les avantages des stents sont une **durée de chirurgie et d'hospitalisation plus courte** (10 à 20 minutes contre 85 minutes pour les prothèses extra-trachéales). La survie en post-opératoire immédiat est totale pour les stents contre 92% pour les anneaux. De plus, les stents permettent de **soutenir l'ensemble de la trachée facilement** : 7% des chiens ayant reçu des anneaux extra-trachéaux, de l'étude de TINGA et son équipe en 2014, ont reçu un stent à cause d'une récurrence des signes cliniques de collapsus trachéal ou son extension en zone intrathoracique.

La comparaison entre ces deux techniques chirurgicales reste difficile et le choix doit se faire en fonction de **l'expérience et de la préférence du chirurgien qui vont conditionner en partie la prise en charge chirurgicale** (CHISNELL et PARDO, 2015). L'utilisation des stents semble cependant à privilégier sur des animaux **plutôt âgés** : l'anesthésie est plus rapide, il y a souvent une bronchomalacie concomitante, ils sont difficilement retirables en cas de problème et il y a toujours peu de recul sur la durée de vie et stabilité au long terme des stents (TINGA et al, 2014).

Les *anneaux extra-trachéaux* ont l'avantage d'entraîner **peu de toux en post-opératoire**. Les taux de **survie et de complication sont proches** dans les *deux techniques chirurgicales* mais la **pose d'un second stent** peut dans la majorité des cas pallier les différents inconvénients des *stents*. Les *stents* semblent à privilégier selon la **préférence et l'expérience** du chirurgien et selon **l'âge** de l'animal. La **chirurgie, la durée d'hospitalisation** sont plus **courtes**, les animaux nécessitent **peu de soins intensifs** par la suite et le **soulagement de l'animal est très rapide**.

Synthèse :

La mise en place d'un **stent en Nitinol** dans la trachée des chiens ayant un collapsus trachéal est une technique **efficace**. Les stents sont biocompatibles et ont des propriétés permettant leur **insertion et leur maintien** au sein de la trachée malgré les forces auxquelles ils sont soumis. Des **stents vétérinaires** ont été développés par différents laboratoires. La **pose est rapide** (le stent est comprimé dans un dispositif de largage) et se réalise sous **anesthésie** avec un suivi **fluoroscopique ou endoscopique**. Un **traitement médical** reste indispensable pour contrôler la toux après la pose. La médiane de **survie** est de 543 jours après une chirurgie de pose d'un stent et la **survie de six mois à un an** varie entre 60 à 78%. Les **complications majeures** sont la fracture, la migration du stent et la formation de tissu de granulation dans la trachée. La majorité de ces inconvénients est liée à un **mauvais choix de la taille et du type de stent** et peut être contrôlée par la **pose d'un nouveau stent**. En comparaison avec les anneaux trachéaux, **l'expérience et la préférence du chirurgien** sont indispensables dans le choix de la technique chirurgicale.

G. Choix de la taille et du type de stent

1. Intérêt du bon choix de la taille et du type de stent

Comme nous l'avons vu précédemment, le choix d'un stent **surdimensionné** entraîne des pressions des fils métalliques suffisamment importantes pour **léser la muqueuse trachéale** et entraîner des nécroses, des perforations trachéales et ainsi un pneumomédiastin ou un pneumothorax (RADLINSKY et al, 1997). **L'irritation** de la muqueuse et la formation de **granulome** peuvent aussi être diminuées avec une taille de stent adaptée (SAAD et al, 2003). À l'inverse, **sous-dimensionner** un stent aura pour conséquence un **mauvais recouvrement par la muqueuse trachéale** donc un fort risque d'expectoration (GELLASCH et al, 2002). Il sera également plus court que la longueur prévue et risque alors de ne pas soutenir l'ensemble du collapsus trachéal.

Les forces radiales de réactions permettent aussi un **ancrage** du stent en luttant contre les forces de compression appliquées sur le stent, elles sont relativement faibles dans le cas des stents **couverts** ce qui entraîne un **fort taux de migration** (HWANG et al 2001, SURA et KRAHWINKEL, 2008). Les stents **non couverts** sont plus facilement **implantés** dans la muqueuse (GELLASCH et al, 2002).

Bilan :

Le choix d'un stent de **taille adaptée** permet d'éviter les inconvénients liés à un contact trop important du stent contre la muqueuse ou l'expectoration d'un stent non ancré. Enfin le **choix d'un stent couvert est indispensable** dans le cas d'un collapsus trachéal afin de diminuer le risque de migration

2. Les différentes techniques de mesures trachéales utilisées, leurs avantages et leurs limites

i. Mesures sur des radiographies

i) Méthodes utilisées

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour réaliser les mesures trachéales nécessaires au choix du stent.

En 1997, RADLINSKY et son équipe ont mis en évidence une **variation de diamètre de la trachée** entre les chiens **anesthésiés et sous ventilation** et les chiens **non anesthésiés dont le diamètre trachéal est plus faible**. Il semble important de mesurer la trachée sur un chien anesthésié. De plus, les mesures sous pression positive (20 cmH₂O) **diminuent** les différences **liées à la respiration** (SURA et KRAHWINKEL, 2008). La trachée est **proche d'être circulaire** sous une pression de 15 cmH₂O, les mesures sont alors plus précises (LEONARD et al, 2009).

En 2004, MORITZ, SCHNEIDER et BAUER ont mis en place une **formule** permettant d'obtenir une **estimation du diamètre de la trachée (D)** sur des radiographies latérales et de face :

Ce calcul n'a pas été réalisé sur le premier chien de l'étude, le stent **était sous-dimensionné et a été expectoré**. Après utilisation de cette formule, aucun problème de ce type n'a eu lieu.

En 2013, BERANEK, JERESOVA et RYTZ mesurent le diamètre trachéal au niveau du **premier anneau trachéal**, celui-ci étant attaché au cricoïde, il n'est pas affecté par le collapsus trachéal. Cette mesure a été prise sur une radiographie latérale, le chien étant endormi, le cou en extension. La migration ne fait pas partie des complications rencontrées.

Pour mettre en place une **échelle** au niveau de la trachée, plusieurs techniques ont été essayées. En 2013, BERANEK, JERESOVA et RYTZ ont choisi **le diamètre de la sonde endotrachéale** comme échelle. Un **kit de calibrage** (fig. 53) a été développé par les laboratoires vétérinaires, il s'agit d'une tige **radio-opaque insérée dans l'œsophage** du chien (fig. 54) dont les graduations sont de longueur connue.

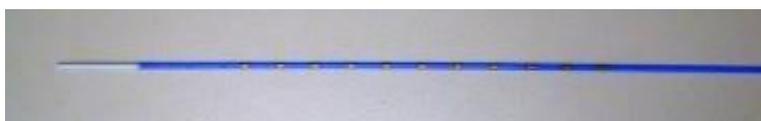


Figure 53 : Kit de calibrage des stent (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. Kit de calibrage.

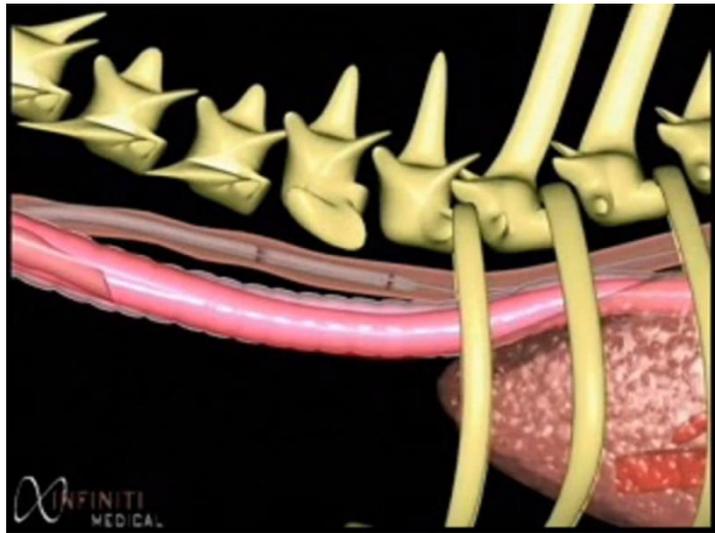


Figure 54 : Mise en place du kit de calibrage radio opaque dans l'œsophage (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. *Vet Stent-Trachea*®.

Ce cathéter de calibrage permet de réaliser des **mesures trachéales précises** afin de choisir le stent adapté, il permet aussi de **contrôler la taille finale** du stent sur les radiographies post-opératoires (fig. 55).



Figure 55 : Radiographie d'un chien avec le kit de calibrage des stents inséré dans l'œsophage avant la pose d'un stent (gauche) (image reproduite avec l'autorisation de DEXTRONIX) et après la pose d'un stent (droite). Service d'imagerie médicale, VetAgro-Sup.

ii) *Difficultés rencontrées*

La **mesure exacte du diamètre** de la trachée est difficile sur des radiographies par l'absence de bord franc des structures notamment à cause de la **superposition des tissus mous** (FINGLAND et al, 1995). De plus, sur une radiographie latérale, la trachée n'est **pas une ligne droite** parfaite et n'est **pas dans un seul plan** ce qui peut causer des différences entre le diamètre mesuré et le diamètre réel (MONACO et al, 2014).

Les mesures trachéales peuvent se faire sur des **radiographies**, l'échelle étant idéalement prise avec un **kit de calibrage** inséré dans l'œsophage. Le chien est **endormi** et une **pression positive de 20 cmH₂O** est appliquée durant la prise de la radiographie. Le diamètre de la trachée est alors mesuré soit au niveau du **premier anneau trachéal** caudalement au cartilage cricoïde ou **tout le long** de la trachée et une **formule** permet d'approximer un diamètre trachéal moyen.

ii. Mesures sur des images de fluoroscopie

La **fluoroscopie** peut être utilisée pour mesurer le diamètre trachéal. Le chien est **endormi** et une **pression positive de 20 cmH₂O** est appliquée lors des mesures. Un **cathéter radio opaque œsophagien** donne l'échelle des mesures (ROSENHECK et al, 2017).

La **fluoroscopie** est une technique d'imagerie médicale qui va permettre d'observer les possibles variations de diamètre trachéal et de choisir le diamètre maximal. Le chien est **endormi** et placé sous une **ventilation positive** comme lors d'une mesure radiographique.

iii. Mesures sur des images de scanner

Les **images tomodynamométriques** peuvent être utilisées pour les mesures trachéales, elles représentent la technique la plus utilisée et la plus fiable en médecine humaine (LEONARD et al, 2009).

MONTGOMERY et son équipe ont comparé en 2015 les mesures obtenues sur des **radiographies et sur des images de scanner** sous une pression positive de 20 cmH₂O. Trois observateurs ont réalisé sur 5 lieux prédéterminés trois mesures de diamètres. Trois mesures de longueur ont été également prises sur les deux images.

Sur les images du **scanner**, les mesures ont en moyenne **1,03 mm de plus que sur les images radiographiques**. La **radiographie sous-estime la taille de la trachée** quelle que soit la vue (les radiographies dorso-ventrale, latérale et obliques (15° et 45°) ont été testées). Les images prises lors d'un **scanner sont donc préférables** pour évaluer ces diamètres.

Cette étude a été réalisée sur **des chiens sains**. La trachée d'un chien avec une pathologie trachéale étant moins régulière, la mesure par un scanner est d'autant plus intéressante. La **radiographie** peut entraîner le **choix d'un stent sous-dimensionné** qui risquera alors de migrer ou d'être plus court que la longueur escomptée. Enfin, **il ne faut pas** réaliser de mesure de **diamètre proche de la sonde endotrachéale** car il y a un risque de surestimer celui-ci par la possible dilatation trachéale générée par la sonde.

Concernant la mesure de la **longueur trachéale**, il n'existe **pas de différence** significative entre les valeurs radiographiques et tomodynamométriques, la radiographie reste une méthode fiable pour cette mesure.

En 2016, WILLIAMS et son équipe ont comparé les mesures trachéales entre la **fluoroscopie et le scanner**. Les chiens sont anesthésiés sous une pression positive de 20 cm H₂O, le kit de calibrage œsophagien servant d'échelle. Trois mesures sur huit sites prédéterminés par trois observateurs différents sont réalisées. **Le diamètre est plus grand sur les images scanner que fluoroscopiques** (la plus grande différence était de 0,21 mm) donc une **mesure fluoroscopique** va conduire au choix d'un **stent sous-dimensionné**.

Une mesure sur des images **tomodensitométriques** est également réalisable et apparaît plus précise que les images **radiographiques** ou **fluoroscopiques**.

Bilan :

Trois méthodes sont possibles pour mesurer le diamètre et la longueur de la trachée. Le chien est dans tous les cas **anesthésié** et une pression positive de **20 cmH₂O** est appliquée dans l'arbre respiratoire. Un **kit de calibrage** inséré dans l'œsophage ou la **prise du diamètre de la sonde endotrachéale** sont utilisés pour créer l'**échelle** des clichés. Bien qu'ayant un **coût** élevé et nécessitant plus de **moyens**, l'utilisation du **scanner** pour les mesures trachéales apparaît comme **idéale**, les deux autres techniques menant à des mesures plus petites et donc à un stent sous-dimensionné.

3. Variabilité intra et inter-observateur lors des mesures trachéales

Des mesures trachéales ont été réalisées sur des radiographies par **trois observateurs différents** (quatre mesures sur quatre segments trachéaux différents par personne sont prises et la moyenne des mesures est notée, cette démarche est réalisée trois fois par personne). La **fiabilité pour un même observateur et entre observateurs est bonne à élevée** (coefficient de corrélation : 0,98). Les techniques de mesures **peuvent être répétées** chez la même personne et chez des personnes différentes pour **affiner la mesure du diamètre** et donc le choix final du stent (MONACO et al, 2014). MONTGOMERY et son équipe, en 2015, ont observé des **différences de mesures entre les observateurs** en comparant les mesures au scanner et en radiographie. Il semble important qu'au moins deux personnes différentes prennent des mesures pour permettre de réaliser une moyenne diminuant la possible variabilité individuelle.

Il existe **plus de variation de mesures avec la fluoroscopie qu'avec le scanner** entre les observateurs et pour un même observateur. En effet, le scanner permet une sélection précise du lieu de mesure et le calibrage n'est pas utile. Mais il existe des variations aussi pour le scanner (possiblement dues soit aux petites ondulations de la membrane trachéale soit liées à la position de cou) (WILLIAMS et al, 2016).

Bilan :

Il peut exister des **variations de mesure** chez un même individu ou entre deux observateurs. L'idéal est que les mesures soient **prises par plusieurs personnes** et la **moyenne** se rapprochera de la valeur **réelle**.

4. Quelle taille de stent choisir finalement et sur quelle longueur de la trachée mettre en place le stent ?

Afin de créer des forces chroniques faibles suffisantes pour ancrer le stent au sein de la trachée et pour limiter les erreurs de mesure, il est nécessaire d'**augmenter de 1,25 à 1,8 fois le diamètre du stent** par rapport au diamètre mesuré (TANABE, 1993 ; GELLASCH et al, 2002 ; BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013).

Une autre méthode consiste à **ajouter 10 à 20%** du diamètre trachéal au diamètre trachéal maximal afin de choisir le diamètre du stent adapté. Les migrations sont évitées et cela permet une accommodation de la membrane trachéale (GELLASCH et al, 2002) (SURA et KRAHWINKEL, 2008 ; MONACO et al, 2014 ; MONTGOMERY et al, 2015).

Deux études plus récentes ont précisé cette mesure, **10% d'ajout** au diamètre a été suffisant pour prévenir les inconvénients d'un stent inadapté (WILLIAMS et al, 2016 ; YOON et al, 2017).

Concernant la **longueur du stent**, il est nécessaire que le stent **dépasse de plusieurs centimètres de part et d'autre de la zone touchée par le collapsus** (1 à 2 cm de plus au minimum). Si un seul stent n'est pas assez long, deux stents peuvent être juxtaposés en laissant un centimètre entre les deux (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

Certaines études recommandent de **soutenir l'ensemble de la trachée** (MORITZ, SCHNEIDER et BAUER, 2004 ; BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013 ; YOON et al, 2017). Cependant, le **risque de fracture** est plus élevé dans ce cas, les zones à forte mobilité comme l'entrée du thorax étant aussi soutenues (SURA et KRAHWINKEL, 2008).

Enfin, en 2017, ROSENHECK et son équipe ont mis en évidence sur 27 chiens que le pourcentage de la trachée occupé initialement par le stent n'est **pas corrélé avec le taux de complications et le taux de survie**. Il semble donc plus important de **placer le stent au bon endroit plutôt que sur l'ensemble de la trachée**. Il est possible qu'il existe toutefois un seuil de recouvrement minimal de la trachée, mais celui-ci n'a pas été déterminé dans l'étude (au minimum 43% de la trachée était recouverte) (ROSENHECK et al, 2017).

Tableau III : Coefficient multiplicateur à appliquer au diamètre trachéal maximal mesuré afin de choisir le diamètre du stent, selon les auteurs.

	Coefficient multiplicateur pour le choix du diamètre du stent (à partir du diamètre maximal mesuré)
TANABE, 1993	1,25 à 1,8
GELLASCH et al, 2002	1,1 à 1,8
SURA et KRAHWINKEL, 2008	1,1 à 1,2
BERANEK, JERESOVA et RYTZ, 2013	1,25 à 1,8
MONACO et al, 2014 MONTGOMERY et al, 2015	1,1 à 1,2
WILLIAMS et al, 2016 YOON et al, 2017	1,1

Une fois le diamètre et la longueur du stent déterminés, des **tableaux de raccourcissements** fournis par les laboratoires permettent de **choisir le stent adapté** (un exemple de tableau de raccourcissement pour un stent d'une longueur de 34 mm et d'un diamètre de 8 mm une fois déployé est visible dans le tableau IV).

Tableau IV : Exemple de tableau de raccourcissement d'un VetStent Trachea® de 8 mm de diamètre (image reproduite avec l'autorisation d'Infiniti Medical, LLC, Redwood City, Ca, USA) d'après Infiniti Medical. Vet Stent-Trachea®

Dimensions nominales du stent		Dimensions du stent pendant le déploiement	
Diamètre extérieur nominal (relâché)	Longueur nominale (relâché) (mm)	Diamètre déployé (mm)	Longueur au diamètre déployé (mm)
8	34	Sur le système de largage	59
		5	52
		6	48
		7	42

Bilan :

Le diamètre idéal du stent est choisi en multipliant **d'1,25 à 1,8 fois** la taille maximale du **diamètre** mesuré ; il est aussi possible d'ajouter **10%** de ce diamètre au choix du diamètre idéal. Concernant le choix de la **longueur**, il semble plus important de soutenir la zone du collapsus avec des **marges** de part et d'autre de celle-ci plutôt que **l'ensemble de la trachée**. Le stent est ensuite choisi selon un **tableau de raccourcissement** fourni par le laboratoire.

Synthèse :

Les **innovations thérapeutiques majeures récentes** des stents concernent le choix beaucoup plus précis de la **taille et du type de stent** qui est essentiel et conditionne le résultat à long terme de la chirurgie (les complications et la survie). **Une taille de stent adaptée** permet de limiter les complications. Cette taille est déterminée en suivant des **tableaux de raccourcissement** après avoir mesuré le **diamètre et la longueur idéales et les avoir amplifiés** (10% de plus pour le diamètre et quelques centimètres de plus pour la longueur). Ces mesures sont prises sur un chien **anesthésié** et ventilé sous une pression positive **de 20 cmH20** grâce à des images radiographiques, fluoroscopiques ou idéalement tomodensitométriques.

H. Autres innovations à l'étude

1. Régénération du cartilage trachéal

i. Par l'action d'une protéine

Une étude expérimentale sur 15 chiens a étudié l'action d'une protéine (**la protéine 2 morphogénétique des os : BMP-2**) sur la régénération du cartilage trachéal. **Un modèle de trachéomalacie** a été créé en réalisant des perforations dans la trachée des 15 chiens.

Sans application de la BMP-2, la trachée de ces animaux ne se collabe pas lors de toux, la sous muqueuse est fine et une toux et un stridor sont audibles lors des aboiements. Lorsque la **BMP-2 est appliquée** au niveau de cette perforation, on observe un **comblement par du tissu amorphe** au bout d'un mois (lié à la réaction inflammatoire) et la **formation d'un tissu fibreux au bout de six mois**. La lumière trachéale est maintenue **sans collapsus** au moins 6 mois. Le cartilage trachéal est **plus stable** lors d'un test de compression. Cette régénération du cartilage a cependant lieu vers la lumière ou vers l'extérieur de la trachée plutôt que vers le centre de la perforation. La protéine n'induit pas la transformation des fibroblastes en ostéocytes ou chondrocytes (OKAMOTO et al, 2004).

ii. Par culture de cellules souches

SHIN et son équipe, en 2014, ont mis en évidence une **régénération de cartilage trachéal** chez des lapins (sur lesquels une lésion trachéale de 5 mm x 10 mm a été pratiquée) à partir de **chondrocytes souches** de lapins sur un support en cartilage articulaire porcin.

Cette association (chondrocytes souches cultivés sur le cartilage porcin), appliquée sur cette lésion chez 6 lapins a permis la formation d'un **néo-cartilage** au sein de celle-ci ainsi qu'une **ré-épithélialisation** du cartilage sans rejet après plusieurs semaines.

Bilan :

Une faible quantité de BMP-2 induit une **régénération du cartilage** à partir du perichondrium, mais cette régénération demeure **limitée** et entraîne un **rétrécissement de la lumière** trachéale. Néanmoins, la lumière est **maintenue durant la toux**. En six mois, aucune modification de ce cartilage n'a été relevée et il apparaît plus stable qu'une trachée normale.

La culture de chondrocytes souches de lapin sur du cartilage articulaire porcin a permis une **régénération totale** du cartilage trachéal ainsi qu'une **ré-épithélialisation** de celui-ci et semble être une piste de recherche à privilégier.

2. Prothèses et greffes trachéales

Beaucoup de recherches sont réalisées actuellement en **médecine humaine** pour réaliser des **prothèses trachéales** en développant des attelles biocompatibles, mises en place autour d'un stent. Ces prothèses trachéales doivent être **biocompatibles** (la réponse immunitaire est importante au sein de la trachée et celle-ci contient peu de facteurs chondrogéniques). De plus, leur forme reste un challenge. Cette étude révèle aussi qu'un **cartilage tubulaire a pu être reconstitué** en sous-cutané chez **un lapin**. Ce cartilage régénéré a été utilisé **en tant que prothèse** pour réparer la trachée d'un lapin autologue. Cela a entraîné plusieurs **complications** : une sténose par la formation d'un tissu de granulation, une accumulation de mucus par absence d'épithélium et un collapsus trachéal, le cartilage régénéré n'étant pas assez solide. La mise en place d'un **stent en silicone** en parallèle peut être une solution ainsi qu'un **lambeau musculaire** entourant la trachée et fournissant un apport vasculaire (LIU, ZHOU et CAO, 2017).

PENG et son équipe ont développé en 2015 une nouvelle technique chirurgicale de **reconstruction trachéale**. Un **lambeau musculo-cutané antérieur cervical** recouvre un tube en **polypropylène** associé à un **stent métallique en Z**. Ces éléments recouvrent une portion de trachée reséquée (3,5 x 4 cm). On remarque une **bonne cicatrisation des tissus** de la zone d'anastomose (entre l'épithélium de la prothèse et l'épithélium de l'hôte) mais des **poils se sont formés** au sein de la trachée ce qui crée un risque d'obstruction. On remarque que ces greffes apportent un **bon résultat mais seulement à court terme**, d'autant plus que les stents doivent être rapidement retirés. Cette technique apparaît donc comme réalisable pour permettre la **cicatrisation de lacérations trachéales** et non en cas de collapsus trachéal.

Une étude a enfin comparé différents **biomatériaux** pouvant être utilisés pour la création de **prothèses trachéales**. Ces biomatériaux sont placés autour d'un **stent en titane** et cette prothèse insérée à la place de dix anneaux trachéaux. On remarque que l'association de **copolymère d'acide L-lactique et ϵ -caprolactone recouvert de polyglactine 910, tissé**, a formé une prothèse remplaçant la trachée pendant 1 à 2 ans après la chirurgie. Un **épithélium cilié** s'est formé autour de la prothèse ainsi qu'une **néovascularisation** en périphérie. On n'observe cependant **aucune régénération** cartilagineuse (TSUKADA et al, 2008).

Bilan :

Des études **expérimentales** destinées à la médecine **humaine** ont développé des techniques de **prothèses trachéales**. Ces prothèses doivent être biocompatibles mais ne pas se collaber. Une prothèse de **copolymère d'acide L-lactique et d' ϵ -caprolactone recouverte de polyglactine 910 tissé** permet un **maintien au long terme** de la lumière trachéale (une épithélialisation et une néovascularisation périphérique sont notées).

Synthèse :

La régénération trachéale et la mise en place de **prothèses et de greffes** de trachée sont des techniques actuellement à l'étude pour la médecine humaine. La **BMP-2** est une protéine qui induit une régénération limitée du cartilage trachéal. La **culture de chondrocytes souches** permet dans certains cas une régénération cartilagineuse complète. Des **prothèses trachéales** formées de copolymère peuvent être envisagées pour remplacer une portion de trachée atteinte d'une pathologie. **Des études supplémentaires** sont indispensables pour développer ces techniques en médecine vétérinaire et voir si elles sont applicables au collapsus trachéal du chien.

Conclusion partielle :

Les prothèses endo-luminales ou stents sont des dispositifs mis en place dans la trachée pour **rétablir son diamètre** en cas de pathologie obstructive. Créés dès la **fin du XIX^{ième} siècle** en médecine humaine, les premiers stents ont été développés par Butler en **1961** en médecine vétérinaire. Des stents en silicone, hybrides, bioabsorbables et métalliques de première génération ont été testés mais de **nombreuses complications** rendent leur utilisation impossible. **Les stents métalliques auto-expansibles de deuxième génération** sont en **Nitinol**, un alliage possédant de nombreuses propriétés permettant une **insertion** facile au sein de la trachée et un **maintien** du stent. Mis en place lors d'une **chirurgie courte**, ils apportent un **soulagement rapide** à l'animal avec peu de soins post-opératoires, un **traitement médical** restant indispensable par la suite. **La survie** à long terme est de plus comparable aux anneaux extra-trachéaux. Les **complications** peuvent en majorité être évitées grâce au **bon choix du stent**. **Son diamètre et sa longueur** sont choisies grâce à des mesures réalisées sur des clichés de **techniques d'imagerie médicale**. De nouvelles techniques de **régénération** du cartilage et de **prothèses trachéales** sont enfin à l'étude mais leurs applications dans le cadre du **collapsus trachéal** n'est **pas envisageable actuellement**.

CONCLUSION

Chez le chien, le collapsus trachéal est une diminution du calibre de la trachée par déformation des anneaux trachéaux conduisant à une obstruction respiratoire plus ou moins importante. Un **examen clinique** détaillé ainsi que différents examens **d'imagerie médicale** (dont l'endoscopie) conduisent au diagnostic. Selon le grade, un **traitement médical** peut être instauré mais pour les grades plus avancés un **traitement chirurgical** doit être proposé. Un des premiers traitements mis en place est la **pose d'anneaux extra-trachéaux** soutenant les zones collabées de la trachée. Cette chirurgie, encore utilisée actuellement, présente de **nombreux inconvénients** qui ont conduit à la **recherche d'alternatives chirurgicales**.

Les **stents** ont été développés en médecine vétérinaire dès les années 1960 au travers des progrès de la chirurgie Humaine. Ces **prothèses endo-luminales** sont des structures généralement **tubulaires** insérées **par voie orale dans la trachée pour en rétablir le diamètre initial**. Plusieurs matériaux et formes de stents ont été expérimentés en médecine humaine (en silicone, tressés en métal ou bioabsorbables) et lors d'expérimentations animales. **Les complications consécutives à la pose de ces implants restent nombreuses**.

L'innovation thérapeutique majeure fut le développement **de stents métalliques auto-expansibles en Nitinol**. Ce métal biocompatible, très élastique, possède des propriétés qui le rendent flexible lors de compressions. Il est **adapté à la composition d'un stent trachéal**. Une fois le stent inséré, les signes cliniques rétrocedent rapidement. La **survie** après cette chirurgie est **longue**. Des **complications** comme la formation de tissu de granulation, la fracture du stent, son raccourcissement important ou sa migration peuvent souvent être résolues par la **pose d'un nouveau stent**.

Les **grandes avancées** actuelles concernent le **choix du stent idéal** pour éviter **ces inconvénients**. Le diamètre et la longueur de la trachée sont **mesurés avec une meilleure précision** sur des images tomodensitométriques. Il est recommandé de faire **plusieurs mesures** et par **différentes personnes**. Les mesures de diamètre sont **amplifiées par l'opérateur** et le stent idéal est choisi, avec des **tableaux de raccourcissements**, en fonction de la longueur. De **nouvelles techniques sont à l'étude** mais non encore disponibles chez le chien pour le traitement du collapsus trachéal.

En médecine humaine, des recherches récentes ont mis au point des **nouvelles techniques de prothèses trachéales par bioingénierie** dont nous pourrions nous inspirer dans quelques années.

Bibliographie

AMIS TC. (July 1974). Tracheal collapse in the dog [en ligne]. *Australian Veterinary Journal*. **50**(7), pp. 285-289. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-0813.1974.tb05312.x/abstract> [consulté le 21 avril 2017]

AYRES SA, HOLMBERG DL. (November 1999). Surgical treatment of tracheal collapse using pliable total ring prostheses: results in one experimental and 4 clinical cases, *The Canadian Veterinary Journal*, **40**(11), pp. 787-791.

BARONE R, Trachée et bronches. In : BARONE R (dir.) (1997). Anatomie comparée des mammifères domestiques : tome III : Splanchnologie; fascicule premier : Appareil digestif. Appareil respiratoire. VIGOT, pp 708-719.

BEAL MW. (2013). Tracheal stent placement for the emergency management of tracheal collapse in dogs [en ligne], *Companion Animal Medicine*, **28**, pp. 106-111. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.1053/j.tcam.2013.06.001> [consulté le 10 novembre 2017]

BERANEK J, JARESOVA H, RYTZ U. (February 2014). Use of nitinol self-expandable stents in 26 dogs with tracheal collapse, *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, **156**(2), pp. 91-98.

BINNINGTON AG, KREPLIN CMA. (July 1977). An unusual lateral tracheal collapse in a dog. *The Canadian Veterinarian Journal*, **18**, pp. 190-192.

BOJRAB MJ, NAFE LL. (1976). Tracheal reconstructive surgery. *Journal of the American Animal Hospital Association*, **12**, pp. 622-628.

BOLLIGER CT, WYSER C, WU X, HAUSER R, STUDER W, DALQUEN P, PERRUCHOUD AP. (February 1999). Evaluation of a new self-expandable silicone stent in an experimental tracheal stenosis, *American College of Chest Physicians*, **115**(2), pp. 496-501.

Boston Scientific. *DynamicTM (Y) Stent*. [en ligne]. URL : <http://www.bostonscientific.com/en-US/products/stents--pulmonary/dynamic-y-stent.html> [consulté le 7 janvier 2018]

Boston Scientific. *PolyflexTM Airway Stent*. [en ligne]. URL : <http://www.bostonscientific.com/en-US/products/stents--pulmonary/polyflex-airway-stent.html> [consulté le 7 janvier 2018]

Boston Scientific. *Ultraflex Tracheobronchial Uncovered Stent System*. [en ligne]. URL : http://www.bostonscientific.com/en-US/products/stents--pulmonary/Ultraflex_Tracheobronchial_Stent.html [consulté le 7 janvier 2018]

Boston Scientific. *WallFlex™ Biliary RX Stents*. [en ligne]. URL : <http://www.bostonscientific.com/en-US/products/stents--gastrointestinal/wallflex-biliary-rx-stents.html> [consulté le 7 janvier 2018]

BRAZELL J. *San Antonio Dr. Julio Palmaz, and Schatz, invent balloon expandable heart stent*. [en ligne]. URL : <https://www.flickr.com/photos/96522041@N00/17109910719/in/photostream/> [consulté le 12 février 2018]

BROWN SA, WILLIAMS JE, SAYLOR DK. (July 2008). Endotracheal stent granulation stenosis resolution after colchicine therapy in a dog, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **22**(4), pp. 1052-1055.

BUBACK JL, BOOTHE HW, HOBSON HP. (February 1996). Surgical treatment of tracheal collapse in dogs : 90 cases (1983-1993), *Journal of American Veterinary Medical Association*, **208**(3), pp. 380-384.

BYLICKI BJL, JOHNSON LR, POLLARD RE. (November 2015). Comparison of the radiographic and tracheoscopic appearance of the dorsal tracheal membrane in large and small breed dogs [en ligne], *Veterinary Radiology & Ultrasound*, **56**(6), pp. 602-608. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/vru.12276/abstract> [consulté le 25 mars 2017]

CHISNELL HK, PARDO AD. (2015). Long-term outcome, complications and disease progression in 23 dogs after placement of tracheal ring prostheses for treatment of extrathoracic tracheal collapse, *Veterinary Surgery*, **44**, pp. 103-113.

Confluent Medical. *Nitinol Facts, Confluent Medical* [en ligne]. URL : <https://confluentmedical.com/tech-center/nitinol-facts/> [consulté le 15 novembre 2017]

COYNE BE, FINGLAND RB. (September 1992). Hypoplasia of the trachea in dogs : 103 cases (1974-1990), *Journal of American Veterinary Medical Association*, **201**(5), pp. 768-772.

COYNE BE, FINGLAND RB, KENNEDY GA, DEBOWES RM. (July 1993). Clinical and pathologic effects of a modified technique for application of spiral prostheses to the cervical trachea of dogs, *Veterinary Surgery*, **22**(4), pp. 269-275.

DABANOĞLU I, ÖCAL MK, KARA ME. (February 2001). A quantitative study on the trachea of the dog [en ligne], *Anatomia, Histologia, Embryologia*, **30**(1), pp. 57-59. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1439-0264.2001.00301.x/abstract> [consulté le 21 avril 2017]

BAUER NB, SCHNEIDER MA, NEIGER R, MORITZ A. (July 2006). Liver disease in dogs with tracheal collapse, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **20**(4), pp. 845-849.

BECKER WM, HAUPTMAN JG, STANLEY BJ, BEAL M. (November 2011). Survival after surgery for tracheal collapse and the effect of intrathoracic collapse on survival, *Veterinary Surgery*, **41**, pp. 501-506.

DALLMAN MJ, BROWN EM. (1979). Structural considerations in tracheal disease, *American Journal of Veterinary Research*, **40**(4), pp. 555-558.

DALLMAN MJ, MCCLURE RC, BROWN EM. (December 1988). Histochemical Study of Normal and Collapsed Tracheas in Dogs, *American Journal of Veterinary Research*, **49**(12), pp. 2117-2125.

Dextronix. Nitinol Tracheal Stents. [en ligne]. URL : <https://www.dextronix.com/products/nitinol-tracheal-stents/> [consulté le 7 janvier 2018]

DONE SH, CLAYTON-JONES DG, PRICE EK. (November 1970). Tracheal collapse in the dog: A review of the literature and report of two new cases, *Journal of Small Animal Practice*, **11**(11), pp. 743-750.

DONE SH, DREWITT RA. (December 1976). Observations on the pathology of tracheal collapse in dogs, *Journal of Small Animal Practice*, **17**(76), pp. 783-791.

DUMON JF. (February 1990). A dedicated tracheobronchial stent, *American College of Chest Physicians*, **97**(2), pp. 328-332.

DUMON JF, CAVALIERE S, DIAZ-JIMENEZ JP, VERGNON JM, VENUTA F, DUMON MC, KOVITZ KL. (January 1996). Seven-year experience with the dumon prosthesis, *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*, **3**(1), pp. 6-10.

DURANT AM, SURA P, ROHRBACH B, BOHLING MW. (2012). Use of nitinol stents for end-stage tracheal collapse in dogs, *Veterinary Surgery*, **41**, pp. 807-817.

EOM K, MOON K, SEONG Y, OH T, YI S, LEE K, JANG K. (December 2008). Ultrasonographic evaluation of tracheal collapse in dogs, *Journal of Veterinary Science*, **9**(4), pp. 401-405. Disponible sur : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2811782/> [consulté le 23 avril 2017]

FINGLAND RB, DEHOFF WD, BIRCHARD SJ. (1987). Surgical management of cervical and thoracic tracheal collapse in dogs using extraluminal spiral prostheses, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **23**, pp. 163-172.

FINGLAND RB, LAYTON CI, KENNEDY GA, GALLAND JC. (1995). A comparison of simple continuous versus simple interrupted suture patterns for tracheal anastomosis after large-segment tracheal resection in dogs, *Veterinary Surgery*, **24**(4), pp. 320-330.

FINGLAND RB, WEISBRODE SE, DEHOFF WD. (1989). Clinical and pathologic effects of spiral and total ring prostheses applied to the cervical and thoracic portions of the trachea of dogs, *American Journal of Veterinary Research*, **50**(12), pp. 2168-2175.

FREITAG L, EICKER R, LINZ B, GRESCHUCHNA D. (1994). Theoretical and experimental basis for the development of a dynamic airway stent, *European Respiratory Journal*, **7**, pp. 2045-2038.

FREITAG L, TEKOLF E, STAMATIS G, GRESCHUCHNA D. (1997). Clinical evaluation of a new bifurcated dynamic airway stent: a 5-year experience with 135 patients, *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, **45**, pp. 6-12.

GAER JAR, TSANG V, KHAGHANI A, GILLBE CE, TOWNSEND ER, FOUNTAIN SW, YACCOUB MH. (1992). Use of endotracheal silicone stents for relief of tracheobronchial obstruction, *The Annals of Thoracic Surgery*, **54**, pp. 512-516.

GELLASCH KL, DA COSTA GOMEZ T, McANULTY JF, BJORLING DE. (December 2002). Use of intraluminal nitinol stents in the treatment of tracheal collapse in a dog, *Journal of American Veterinary Medical Association*, **221**(12), pp.1719-1723.

GIBSON A. (2009). Tracheal collapse in dogs : to ring or to stent?, *Irish Veterinary Journal*, **62**(5), pp. 339-341.

GRILLO HC. (February 2003). Development of Tracheal Surgery: A Historical Review. Part 1: Techniques of Tracheal Surgery, *The Annals of Thoracic Surgery*, **75**(2), pp. 610-619.

HAKANSSON CD, TORELMALM NG. (1968). Studies on the physiology of the trachea, *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, **77**, pp. 255-263.

HEBERT F, BULLIOT C. Tableaux étiologiques. In : HEBERT F, BULLIOT C. (dir.) (2014). *Guide pratique de médecine interne chien, chat*, NAC. pp. 393-478

HERRTAGE ME. Medical management of tracheal collapse. In : BONAGURA JD, TWEDT DC (dir.) (2008). *Kirk's Current Veterinary Therapy XIV*. Philadelphia : Elsevier, pp. 630-635.

HOBSON HP. (January 1976). Total ring prosthesis for the surgical correction of collapsed trachea, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **12**(6), pp. 822-882.

HWANG JC, SONG HY, KANG SG, SUH JH, KO GY, LEE DH, KIM TH, JEONG YK, LEE JH. (December 2001). Covered retrievable tracheobronchial hinged stent : an

experimental study in dogs, *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **12**, pp. 1429-1436.

IBRAHIM E. (July 2006). Bronchial Stents, *Annals of Thoracic Medicine*, **1**(2), pp. 92-97.

Infiniti Medical. *Duality Vet Stent*®. [en ligne]. URL : <http://infinitimedical.com/fr/products/duality-vet-stent/> [consulté le 7 janvier 2018]

Infiniti Medical. *Kit de calibrage*. [en ligne]. URL : <http://infinitimedical.com/fr/products/kit-de-calibrage/> [consulté le 21 octobre 2017]

Infiniti Medical. *Vet Stent-Trachea*®. [en ligne]. URL : <http://infinitimedical.com/fr/products/vet-stent-trachea/> [consulté le 7 janvier 2018]

JANTZ MA, et SILVESTRI GA. (April 2000). Silicone stents versus metal stent for management of benign tracheobronchial disease, *Journal of Bronchology*, **7**(2), pp. 177-183.

JERRAM RM, FOSSUM TW. (September 1997). Tracheal collapse in dogs, *The Compendium*, **19**(9), pp. 1049-1060.

JOHNSON LR. (November 2000). Tracheal collapse. Diagnosis and medical and surgical treatment. Respiratory medicine and surgery, *Veterinary Clinics of North America : Small Animal Practice*, **30**(6), pp. 1253-1266.

JOHNSON LR, FALES WH. (November 2001). Clinical and microbiologic findings in dogs with bronchoscopically diagnosed tracheal collapse: 37 cases (1990–1995), *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **219**(9), pp. 1247-1250.

JOHNSON LR, POLLARD RE. (March 2010). Tracheal collapse and bronchomalacia in dogs: 58 Cases (7/2001–1/2008) [en ligne], *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **24**(2), pp. 298-305. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1939-1676.2009.0451.x/abstract> [consulté le 29 mars 2017]

JOHNSON LR, SINGH MK, POLLARD RE. (November 2015). Agreement among radiographs, fluoroscopy and bronchoscopy in documentation of airway collapse in dogs [en ligne], *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **29**(6), pp. 1619-1626. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4895679/> [consulté le 15 février 2017]

Johnson Matthey Medical Components. *Nitinol*. [en ligne]. URL : <http://jmmedical.com/nitinol.html>. [consulté le 15 novembre 2017]

KIM JY, HAN HJ, YUN HY, LEE B, JANG HY, EOM KD, PARK HM, JEONG SW. (2008). The Safety and efficacy of a new self-expandable intratracheal nitinol stent for the tracheal collapse in dogs, *Journal of Veterinary Science*, **9**(1), pp. 91-93.

KIRBY BM, BJORLING DE, RANKIN JHG, PHERNETTON TM. (January 1991). The effects of surgical isolation and application of polypropylene spiral prostheses on tracheal blood flow, *Veterinary Surgery*, **20**(1), pp. 49-54.

LEONARD CD, JOHNSON LR, BONADIO CM, POLLARD RE. (August 2009). Changes in tracheal dimensions during inspiration and expiration in healthy dogs as detected via computed tomography, *American Journal of Veterinary Research*, **70**(8), pp. 986-991.

LEONARD HC. (1971). Surgical correction of collapsed trachea in dogs, *Journal of American Veterinary Medical Association*, **158**, pp. 598-599.

LEONARD HC, WRIGHT JJ. (January 1978). An intraluminal prosthetic dilator for tracheal collapse in the dog, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **14**(4), pp. 464-468.

LIU Y, ZHOU G, CAO Y. (February 2017). Recent progress in cartilage tissue engineering—our experience and future directions, *Engineering*, **3**(1), pp. 28-35.

MACREADY DM, JOHNSON LR, POLLARD RE. (June 2017). Fluoroscopic and radiographic evaluation of tracheal collapse in dogs: 62 Cases (2001-2006) [en ligne], *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **230**(12), pp. 1870-1876. Disponible sur : <https://avmajournals.avma.org/doi/abs/10.2460/javma.230.12.1870> [consulté le 2 janvier 2018]

MAGGIORE AD. (January 2014). Tracheal and airway collapse in dogs [en ligne], *Veterinary Clinics of North America : Small Animal Practice*, **44**(1), pp. 117-127. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvsm.2013.09.004> [consulté le 3 février 2017]

MAROLF A, BLAIK M, SPECHT A. (May 2007). A retrospective study of the relationship between tracheal collapse and bronchiectasis in dogs [en ligne], *Veterinary Radiology & Ultrasound*, **48**(3), pp. 199-203. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1740-8261.2007.00229.x/abstract> [consulté le 15 avril 2017]

MIMS HL, HANCOCK RB, LEIB MS, WALDRON DR. (May 2008). Primary Tracheal Collapse in a Cat, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **44**(3), pp. 149-153.

MITSUOKA M, HAYASHI A, TAKAMORI S, TAMAYA K, SHIROUZU K. (July 1998). Experimental study of the histocompatibility of covered expandable metallic stents in the trachea, *American College of Chest Physicians*, **114**(1), pp. 110-114.

MITTLEMAN E, WEISSE C, MEHLER SJ, LEE JA. (October 2004). Fracture of an endoluminal nitinol stent used in the treatment of tracheal collapse in a dog, *Journal of American Veterinary Medical Association*, **225**(8), pp. 1217-1221.

MONACO TA, TAYLOR JA, LANGENBACH A, GORDON S, VANCE E. (May 2014). Intra- and inter-observer reliability of combined segmental measurement techniques for predicting immediate post-deployment intraluminal tracheal stent length in dogs, *The Canadian Veterinarian Journal*, **55**, pp. 435-441.

MONTGOMERY JE, MATHEWS KG, MARCELLIN-LITTLE DJ, HENDRICK S, BROWN JC. (January 2015). Comparison of radiography and computed tomography for determining tracheal diameter and length in dogs, *Veterinary Surgery*, **44**(1), pp. 114-118.

MORITZ A, SCHNEIDER M, BAUER N. (January 2004). Management of advanced tracheal collapse in dogs using intraluminal self-expanding biliary wallstents, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **18**(1), pp. 31-42.

MOSER JE, GEELS JJ. (July 2013). Migration of extraluminal tracheal ring prostheses after tracheoplasty for treatment of tracheal collapse in a dog, *Journal of American Veterinary Medical Association*, **243**(1), pp. 102-104.

MULLER FC. *Deutsch: Zwei Stents von schräg vorne mit Zentimetermaß. Ort der Aufnahme: Baden-Baden, Deutschland* [en ligne]. URL : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stent4_fcm.jpg [consulté le 2 janvier 2018]

New Generation Devices. *Tracheal Rings*. [en ligne]. URL : http://ngdvet.com/product_details.php?cid=80 [consulté le 23 octobre 2017]

Novatech. *TracheobronxaneTM Dumon[®]*. [en ligne]. URL : <https://www.novatech.fr/stents-tracheo-bronchiques/tracheobronxanetm-dumonr-en-silicone/tracheobronxanetm-dumonr-td-tf.html> [consulté le 7 janvier 2018]

OKAMOTO T, YASUMICHI Y, GOTOH M, HUANG CL, NAKAMURA T, SHIMIZU Y, TABATA Y, YOKOMISE H. (February 2004). Slow release of bone morphogenetic protein 2 from a gelatin sponge to promote regeneration of tracheal cartilage in a canine model, *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **127**(2), pp. 329-334.

OUELLET M, DUNN ME, LUSSIER B, CHAILLEUX N, HELIE P. (November 2006). Noninvasive correction of a fractured endoluminal nitinol tracheal stent in a dog, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **42**(6), pp. 467-471.

PARADISE H, MATHEWS KG, COHEN EB. (July 2016). Imaging diagnosis—use of radiography, computed tomography, and endoscopy in the diagnosis of esophageal perforation by an extra-luminal tracheal ring prosthesis in a golden retriever, *Veterinary Radiology & Ultrasound*, **00**(0), pp. 1-5.

PARDALI D, ADAMANA-MORAITOU KK, RALLIS TS, RAPTOPOULOS D, GIOULEKAS D. (2010). Tidal breathing flow-volume loop analysis for the diagnosis and

staging of tracheal collapse in dogs, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **24**(4), pp. 832-842.

PELTON AR, STOCKEL DD, DUERIG TW. (2000). Medical uses of nitinol, *Material Science Forum*, **327-328**, pp. 63-70.

PENG C, MA J, CHEEMA M, SUN Q, AHAN N, HAO Y, ZHAO Y, CONG B. (2015). Application of a bioengineered composite neotrachea in a dog model, *Journal of Surgical Research*, **194**, pp. 638-643.

PRESTON AR, SULLIVAN LA. (2016). Dislodgement of a right atrial thrombus and subsequent pulmonary thromboembolism following tracheal stent deployment in a dog, *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, **26**(6), pp. 809-814.

RADLINSKY MG, FOSSUM TW, WALKER MA, AUFDEMORTE TB, THOMPSON JA. (March 1997). Evaluation of the palmaz stent in the trachea and mainstem bronchi of normal dogs, *Veterinary Surgery*, **26**(2), pp. 99-107.

REYNIER F, HERNANDEZ J. (Mars 2008). Traitement du collapsus trachéal, une nouvelle technique disponible, *L'Essentiel*, **89**, pp. 21-24.

ROSENHECK S, DAVIS G, SAMMARCO CD, BASTIAN R. (2017). Effect of variations in stent placement on outcome of endoluminal stenting for canine tracheal collapse, *Journal of the American Animal Hospital Association*, **53**(3), pp. 1-9.

RUBIN GJ, NEAL TM, BOJRAB MJ. (1973). Surgical reconstruction for collapsed tracheal rings, *Journal of Small Animal Practice*, **14**, pp. 607-617.

RUDORF H, HERRTAGE ME, WHITE RAS. (November 1997). Use of ultrasonography in the diagnosis of tracheal collapse [en ligne], *Journal of Small Animal Practice*, **38**(11), pp. 513-18. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1997.tb03308.x>. [consulté le 11 février 2017]

SAAD CP, MURTHY S, KRIZMANICH G, MEHTA AC. (2003). Self-expandable metallic airway stents and flexible bronchoscopy, *American College of Chest Physicians*, **124**(5), pp. 1993-1999.

SAITO Y, MINAMI K, KOBAYASHI M, NAKAO Y, OMIYA H, IMAMURA H, SAKAIDA N, OKAMURA A. (2002). New tubular bioabsorbable knitted airway stent : Biocompatibility and mechanical strength, *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **123**(1), pp. 161-167.

SAMUELSON DON A., Respiratory System, Trachea. In : SAMUELSON DON A. (dir) (August 2006). *Textbook of Veterinary Histology*. Londres : ELSEVIER, pp. 231-234.

SCHILLER AG, HOLMBERG DL. (1964). Surgical treatment of tracheal collapse in the dog, *Journal of American Veterinary Medical Association*, **145**(7), pp. 669-671.

SEEGMILLER R, FERGUSON CC, SHELDON H. (February 1972). Studies on cartilage: VI. A genetically determined defect in tracheal cartilage, *Journal of Ultrastructure Research*, **38**(3-4), pp. 288-301.

Skwazel. *Stents Vétérinaires*. [en ligne]. URL : <http://skwazel.fr/index.php/sonde/> [consulté le 22 février 2018]

SHIN YS, LEE BH, CHOI JW, MIN BH, CHANG JW, YANG SS, KIM CH. (January 2014). Tissue-Engineered Tracheal Reconstruction Using Chondrocyte Seeded on a Porcine Cartilage-Derived Substance Scaffold, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, **78**(1), pp. 32-38.

SLATTER DH, PETTIT GD. (February 1974). A surgical method of correction of collapsed trachea in the dog, *Australian Veterinary Journal*, **50**(2), pp. 41-44.

STADLER K, HARTMAN S, MATHESON J, O'BRIEN R. (July 2011). Computed tomographic imaging of dogs with primary laryngeal or tracheal airway obstruction [en ligne], *Veterinary Radiology & Ultrasound*, **52**(4), pp. 377-84. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21447037> [consulté le 15 mars 2017]

STOCKEL D, PELTON A, DUERIG T. (2003). Self-expanding nitinol stents: material and design considerations, *European Radiology*, pp. 1-12.

SUN F, USÓN J, EZQUERRA J, CRISÓTOMO V, LUIS L, MAYNAR M. (January 2007). Endotracheal stenting therapy in dogs with tracheal collapse, *The Veterinary Journal*, **175**, pp. 186-193.

SURA PA, KRAHWINKEL DJ. (January 2008). Self-expanding nitinol stents for the treatment of tracheal collapse in dogs: 12 cases (2001–2004), *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **232**(2), pp. 228-236.

SUZUKI S, IMOTO K, UCHIDA K, TAKANASHI Y, KICHIKAWA K. (March 2006). Midterm results of transluminal endovascular grafting in patients with DeBakey type III dissecting aortic aneurysms, *Annals of thoracic and cardiovascular surgery : official journal of the Association of Thoracic and Cardiovascular Surgeons of Asia*, **12**(1), pp. 42-49.

TANABE Y. (November-December 1993). Expandable metallic stent placement in the tracheobronchial tree in dogs, *Radiation Medicine*, **11**(6), pp. 224-230.

TANGNER CH, HOBSON HP. (October 1982). A retrospective study of 20 surgically managed cases of collapsed trachea, *Veterinary Surgery*, **11**(4), pp. 146-149.

TAPPIN SW. (January 2016). Canine tracheal collapse, *Journal of Small Animal Practice*, **57**(1), pp. 9-17.

TINGA S, PEYCKE LE, THIEMAN MANKIN KM, COHEN ND. (2015). Comparison of outcome after use of extra-luminal rings and intra-luminal stents for treatment of tracheal collapse in dogs, *Veterinary Surgery*, **44**, pp. 858-865.

TSUKADA H, DECAMP MM, ERNST A, KENT MS, MAJID A, GANGADHARAN SP. (2012). Two-stage end-to-end reconstruction of long- segment tracheal defects with a bioabsorbable scaffold grafting technique in a canine model, *The Annals of Thoracic Surgery*, **93**, pp. 1088–1093.

TSUKADA H, MATSUDA S, INOUE H, IKADA Y, OSADA H. (2009). Comparison of bioabsorbable materials for use in artificial tracheal grafts, *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, **8**, pp. 225-229.

WANG T, ZHANG J, WANG J, PEI YH, QIU XJ, WANG YL. (November 2016). Paclitaxel drug-eluting tracheal stent could reduce granulation tissue formation in a canine model. *Chinese Medical Journal*, **129**(22), pp. 2708-2714.

WEISSE CWC. Intraluminal Stenting for tracheal collapse. In : BONAGURA JD, TWEDT DC (dir.) (2008). *Kirk's Current Veterinary Therapy XIV*. Philadelphia : Elsevier, pp. 635-641.

WHITE RAS, WILLIAMS JM. (April 1994). Tracheal Collapse in the Dog - Is There Really a Role for Surgery? A Survey of 100 Cases, *Journal of Small Animal Practice*, **35**(4), pp. 191-196.

WHITE RN. (April 1995). Unilateral arytenoid lateralisation and extra-luminal polypropylene ring prostheses for correction of tracheal collapse in the dog, *Journal of Small Animal Practice*, **36**(4), pp. 151-158.

WILLIAMS JM, KREBS IA, RIEDESEL EA, ZHAO Q. (May 2016). Comparison of fluoroscopy and computed tomography for tracheal lumen diameter measurement and determination of intraluminal stent size in healthy dogs, *Veterinary Radiology & Ultrasound*, **57**(3), pp. 269-275.

WOO HM, KIM MJ, LEE SG, NAM HS, KWAK HH, LEE JS, PARK IC, HYUN C. (2007). Intraluminal tracheal stent fracture in a Yorkshire terrier, *The Canadian Veterinary Journal*, **48**, pp. 1063-1066.

XAVIER RG, SANCHES PRS, VIERA DE MACEDO NETO A, KUHL G, VEARICK SB, DALL'ONDER MICHELON M. (2008). Development of a modified Dumon stent for tracheal applications: an experimental study in dogs, *The Jornal Brasileiro de Pneumologia*, **34**(1), pp. 21-26.

YAMAMOTO Y, OOTSUKA T, ATOJI Y, SUZUKI Y. (April 1998). Morphological and quantitative study of the intrinsic nerve plexuses of the canine trachea as revealed by immunohistochemical staining of protein gene product 9.5, *The Anatomical Record*, **250**(4), pp. 438-447.

YEON SC, LEE HC, CHANG HH, LEE HJ. (2005). Sound signature for identification of tracheal collapse and laryngeal paralysis in dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*, **67**(1), pp. 91-95.

YOON HY, CHOI JW, KIM JiH, KIM JuH. (2017). Use of a double-wire woven uncovered nitinol stent for the treatment of refractory tracheal collapse in a dog: a case report, *Veterinari Medicina*, **62**(02), pp. 98–10.

ZAKALUZNY SA, LANE JD, MAIR EA. (2003). Complications of tracheobronchial airway stents, *Otolaryngology Head and Neck Surgery*, **128**(4), pp.478-488.

ZHU GH, NG AHC, VENKATRAMAN SS, BOEY FYC, WEE ALY, TRASTI SL, YEE LIM LH. (October 2011). A novel bioabsorbable drug-eluting tracheal stent, *Laryngoscope*, **121**(10), pp. 2234-2239.

SAUREL Marie-Lucie

LE COLLAPSUS TRACHÉAL CHEZ LE CHIEN : LES INNOVATIONS THÉRAPEUTIQUES

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 21 Septembre 2018

RESUME :

Le collapsus trachéal est une maladie évolutive caractérisée par un aplatissement dorso-ventral de la trachée ainsi qu'un relâchement de la membrane trachéale dorsale entraînant une diminution de sa lumière. Il touche les petites races de chiens âgés d'environ 6 à 8 ans. Les signes cliniques d'obstruction respiratoire sont variables selon le grade et déclenchés ou aggravés par différents facteurs. Le diagnostic du collapsus et son grade sont obtenus par un examen clinique et des examens complémentaires : imagerie médicale et endoscopie.

Un traitement médical est instauré et une chirurgie envisagée en cas d'échec thérapeutique. La pose d'anneaux trachéaux a été l'une des premières méthodes efficace. Ses nombreuses complications ont conduit, dans les années 1960, au développement des stents trachéaux vétérinaires.

Ces prothèses endo-luminales tubulaires permettent de rétablir le diamètre trachéal initial après mise en place par voie orale au niveau de la zone du collapsus. En médecine humaine, plusieurs types de stents ont été développés sans parvenir à éliminer l'ensemble des inconvénients.

L'innovation thérapeutique majeure fut le développement de stents métalliques auto-expansibles en Nitinol, matériau biocompatible très élastique, particulièrement adapté à la composition d'un stent trachéal par sa résistance et sa flexibilité. La pose rapide d'un stent trachéal en Nitinol entraîne une amélioration clinique notable. Les possibles complications sont généralement résolues par la pose d'un nouveau stent.

Les grandes avancées récentes concernent le choix de la taille du stent, paramètre primordial pour éviter ces inconvénients. Les images tomодensitométriques permettent une mesure précise du diamètre et de la longueur de la portion trachéale collabée. Ces mesures sont amplifiées et le stent idéal choisi avec des tableaux de raccourcissements.

De nouvelles techniques de prothèses et greffes trachéales sont aujourd'hui à l'étude mais non encore disponibles pour le traitement du collapsus trachéal.

MOTS CLES :

- Chien
- Trachéomalacie
- Prothèses internes

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Gilles DEVOUASSOUX
1er Assesseur : Monsieur le Professeur Eric VIGUIER
2ème Assesseur : Madame le Docteur Marine HUGONNARD

DATE DE SOUTENANCE : 21 septembre 2018