



HAL
open science

Evaluation de l'anatomie trachéo-bronchique chez les transplantés pulmonaires

Caroline Castelli

► **To cite this version:**

Caroline Castelli. Evaluation de l'anatomie trachéo-bronchique chez les transplantés pulmonaires. Médecine humaine et pathologie. 2017. dumas-01739931

HAL Id: dumas-01739931

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01739931v1>

Submitted on 21 Mar 2018

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'Etat de docteur en médecine. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2-L 335.10

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES
Faculté de Médecine PARIS DESCARTES

Année 2017

N° 44

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE
DOCTEUR EN MÉDECINE

Évaluation de l'anatomie trachéo-bronchique
chez les transplantés pulmonaires

Présentée et soutenue publiquement
le 21 avril 2017

Par

Caroline CASTELLI

Née le 25 janvier 1988 à Marseille (13)

Dirigée par M. Le Docteur Morgan Le Guen, PH

Jury :

M. Le Professeur Marc Fischler, PU-PH Président

M. Le Professeur Olivier Goëau-Brissonnière, PU-PH

M. Le Professeur Djamel Ben Smail, PU-PH



Except where otherwise noted, this work is licensed under
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Remerciements

Je remercie mon président de thèse, Monsieur le Professeur Marc Fischler, pour son aide, sa patience, et sa disponibilité.

Je remercie mon directeur de thèse, Monsieur le Docteur Morgan Le Guen, pour ses remarques et conseils tout au long de mon stage.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de ce travail et durant mon internat.

Table des matières

Liste des abréviations	4
1. Introduction.....	5
2. Etat des connaissances.....	7
2.1. Importance de l'intubation sélective dans la prise en charge anesthésique	7
2.2 Les techniques de mesure des diamètres trachéo-bronchiques	9
2.2.1 Les différentes techniques d'imagerie.....	9
2.2.2 Intérêt et validation des mesures automatiques.....	10
2.3 La prédiction des diamètres trachéo-bronchiques chez le sujet sain.....	11
2.3.1 Facteurs prédictifs des dimensions de l'arbre trachéo-bronchique	11
2.3.2 Diamètres de la trachée et des bronches chez le sujet sain	13
2.4 La transplantation pulmonaire.....	16
2.4.1 Technique chirurgicale	16
2.4.2 Anatomie trachéo-bronchique des transplantés pulmonaires.....	18
2.5 Synthèse	20
3. Matériel et Méthodes	21
3.1 Type d'étude	21
3.2 Patients.....	21
3.3 Imagerie utilisée et méthodes d'analyse	21
3.4 Données recueillies	24
3.5 Objectifs de l'étude	24
3.6 Analyse statistique	25
4. Résultats.....	26
4.1 Population	26
4.1.1 Patients inclus.....	26
4.1.2 Critères anthropométriques en fonction de la pathologie pulmonaire	28
4.2 Anomalies anatomiques.....	30
4.3 Mesures automatiques des diamètres trachéo-bronchiques.....	31
4.3.1 Diamètres de la trachée	33
4.3.2 Diamètres de la bronche souche gauche.....	34
4.3.3 Diamètres de la bronche souche droite.....	35
4.4 Facteurs prédictifs du diamètre minimum de la trachée et des bronches.....	36
4.5 Erreurs de choix du tube double-lumière.....	38
5. Discussion.....	41
5.1 Anomalies anatomiques bronchiques.....	41
5.2 Mesures des diamètres trachéo-bronchiques chez les transplantés	43
5.2.1 Mesures des diamètres trachéo-bronchiques	43
5.2.2 Facteurs prédictifs des diamètres minimums	44
5.2.3 Erreurs de choix du tube double-lumière	45
5.3 Réalisation des mesures automatiques dans notre étude	46
5.4 Limites de l'étude.....	46
6. Conclusion	48
Bibliographie	49
Annexe.....	54

Liste des abréviations

ANOVA : ANalyse Of VAriance

AP : Antéro-Postérieur

BPCO : Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive

BSG : Bronche Souche Gauche

BSD : Bronche Souche Droite

CERAR : Comité d’Ethique de la Recherche en Anesthésie-Réanimation

DICOM : Digital Imaging and COmmunications in Medicine

E : Emphysème

F : Fibrose

FPI : Fibrose Pulmonaire Idiopathique

Fr : French

GA : Grand Axe

GVH : Réaction du greffon contre l’hôte

HTAP : Hypertension Artérielle Pulmonaire

ISHLT : International Society for Heart and Lung Transplantation

M : Mucoviscidose

MPR : MultiPlanar Reconstruction

NA : Non Analysé

PA : Petit Axe

PEP : Pression Expiratoire Positive

TDM : TomoDensitoMétrie

TR : TRansverse

VEMS : Volume Expiratoire Maximal Seconde

2D : 2 Dimensions

3D : 3 Dimensions

1. Introduction

La ventilation sélective est indispensable dans la majorité des interventions de chirurgie thoracique. Son but est de rendre possible l'exérèse pulmonaire tout en préservant la ventilation du poumon controlatéral. Les deux types de matériels utilisés sont les tubes double lumière et les bloqueurs bronchiques, les tubes double lumière étant les plus utilisés. Une des complications de leur emploi est le risque traumatique de lésions voire de rupture bronchique, que ce soit lié à une disproportion entre le calibre externe de la sonde et le calibre interne de la bronche ou à une surdistension du ballonnet bronchique (1–7). Les critères actuellement utilisés pour effectuer le choix du calibre de la sonde d'intubation sont le sexe et la taille (8). Toutefois, ceux-ci ne permettent pas de prédire avec précision le diamètre idéal du tube double-lumière, c'est-à-dire celui qui est le plus proche du diamètre interne de la bronche. En effet, plusieurs études montrent une tendance à la surestimation de la taille de la sonde d'intubation lorsque seuls les critères anthropométriques sont utilisés (9,10).

La transplantation pulmonaire est une chirurgie thoracique complexe. Le geste chirurgical nécessite une ventilation sélective pour permettre la pneumonectomie et la mise en place du greffon pulmonaire, ainsi que la réalisation des sutures bronchiques et vasculaires. Lors des transplantations bi-pulmonaires séquentielles, seuls les tubes double-lumière gauches sont utilisés. En effet, ceux-ci disposent d'une plus grande marge de sécurité en cas de malposition ou déplacement secondaire, par rapport aux tubes double lumière droits qui exposent au risque d'obstruction de la bronche lobaire supérieure droite (11). Ils permettent la ventilation séquentielle, d'un côté puis de l'autre, et n'interfèrent pas avec la réalisation des sutures bronchiques gauches, celles-ci étant réalisées plus en aval que lors d'une pneumonectomie simple. La séquence initiale de l'intervention, induction anesthésique et intubation trachéale, est à haut risque. Le diamètre externe du tube double-lumière étant plus large que celui d'une sonde d'intubation standard, sa mise en place est plus difficile. Cette difficulté technique chez des patients dont l'état respiratoire est précaire entraîne un risque majeur d'hypoxémie durant cette phase. Dès lors, le choix du tube double-lumière le

plus adapté au patient est important. Le risque d'erreur, déjà habituel dans la population générale, peut donc être accru chez les transplantés du fait de leur hétérogénéité.

La transplantation pulmonaire s'adresse à des patients présentant des anomalies majeures du parenchyme pulmonaire, pouvant entraîner un retentissement sur la morphologie bronchique. Les étiologies des transplantations pulmonaires sont multiples (essentiellement la mucoviscidose, l'emphysème ou la fibrose pulmonaire) chez des patients présentant des caractéristiques anthropométriques différentes (12). Les patients atteints de mucoviscidose sont jeunes avec un index de masse corporelle bas, contrairement aux patients atteints d'emphysème qui sont plus âgés.

Plusieurs études se sont intéressées à la mesure préopératoire des diamètres bronchiques chez les patients bénéficiant d'une intervention de chirurgie thoracique et nécessitant la mise en place d'un tube double-lumière pour assurer une ventilation uni-pulmonaire. Différents examens paracliniques ont été utilisés afin de décrire et mesurer l'anatomie de l'arbre trachéo-bronchique. Parmi ceux-ci figurent la radiographie thoracique (13–16), la tomodensitométrie (TDM) thoracique 2D (17–20) et 3D (21–24), ou encore la fibroscopie bronchique (25–27). La TDM thoracique est un examen disponible dans tous les cas. Les mesures trachéo-bronchiques sur des reconstructions 3D sont plus fiables que sur des scanners thoraciques 2D, car l'obliquité du grand axe de la trachée et des bronches est prise en compte dans le plan de coupe. De nouveaux logiciels effectuent des mesures automatisées sur ces reconstructions multiplanaires. Les mesures automatiques sont reproductibles contrairement aux mesures manuelles, et améliorent ainsi le travail de l'utilisateur. Cette dernière technique pourrait permettre une analyse préopératoire aisée des diamètres bronchiques et donc orienter le choix du tube double-lumière.

Il n'existe actuellement aucune étude s'intéressant à la mesure préopératoire tridimensionnelle de l'arbre trachéo-bronchique avant transplantation pulmonaire. Nous avons réalisé une étude rétrospective comprenant des mesures automatisées multiplanaires trachéales et bronchiques sur des coupes scannographiques thoraciques chez les patients en attente de transplantation pulmonaire, notamment en fonction de leur pathologie.

2. Etat des connaissances

2.1. Importance de l'intubation sélective dans la prise en charge anesthésique

La ventilation uni-pulmonaire est nécessaire dans la majorité des chirurgies thoraciques. Elle permet la dissection chirurgicale en assurant la ventilation et la protection du poumon controlatéral, soit par des sécrétions bronchiques, soit par du sang (28). Elle est possible grâce à deux matériels spécifiques : les tubes doubles lumières et les bloqueurs bronchiques. Les bloqueurs bronchiques permettent l'exclusion pulmonaire par positionnement d'un ballonnet situé sur un dispositif semi-rigide dans une des deux bronches souches. Certains bloqueurs bronchiques sont intégrés à une sonde spécifique munie d'un canal inclus dans sa paroi, qui permet de faire coulisser le dispositif. D'autres peuvent s'utiliser en les introduisant dans la lumière d'une sonde d'intubation classique, sous réserve d'un diamètre interne suffisant pour permettre la mise en place du dispositif tout en assurant une ventilation. Leur utilisation a été quasi-abandonnée devant les déplacements secondaires fréquents, entraînant une exclusion pulmonaire partielle (29).

Les tubes double-lumière se composent de 2 canaux accolés, l'un trachéal et l'autre bronchique, ainsi que de 2 ballonnets d'étanchéité se plaçant dans la trachée et dans la bronche souche. Un mandrin est positionné dans le tube bronchique permettant de conférer une courbure au dispositif et de faciliter son bon positionnement lors de sa mise en place. Ce mandrin doit être retiré dès lors que la sonde dépasse les cordes vocales, au risque d'être traumatique. Les tubes double-lumière permettent d'obstruer une bronche souche après gonflement du ballonnet bronchique (Figure 1). Ils peuvent être droits ou gauches selon la bronche souche obstruée. Les tubes double-lumière droits sont moins utilisés car ils exposent au risque d'obstruction de la bronche lobaire supérieure droite en cas de malposition ou de déplacement secondaire, la bronche lobaire étant plus proche de la carène.

Les tubes double-lumière gauches sont moins sujets à une mobilisation secondaire car leur marge de sécurité en aval du ballonnet bronchique est de 16 à 19 mm, contrairement aux tubes double-lumière droits dont la marge n'est que de 1 à 8 mm (11). L'obstruction des

bronches lobaires est donc moins fréquente à gauche qu'à droite. En pratique, les tubes double-lumière gauches sont les plus utilisés.

La méthode de choix du tube double-lumière reste actuellement une attitude non consensuelle. L'idéal est de choisir un tube permettant une exclusion pulmonaire optimale sans surdistension du ballonnet bronchique, mais avec le plus grand calibre possible afin de faciliter la ventilation uni-pulmonaire et permettre l'aspiration des sécrétions bronchiques. Pour cela, le diamètre externe du tube double-lumière doit être le plus proche possible du diamètre interne de la bronche souche gauche.

La mise en place du tube double-lumière peut engendrer plusieurs complications. En effet, il s'agit d'une sonde d'intubation présentant un calibre externe plus important que les sondes d'intubation standards. Elles peuvent être mineures, à type de dysphonie et douleurs pharyngées entraînant une gêne fonctionnelle pendant la période postopératoire précoce. Mais les complications peuvent aussi être majeures. En effet, la surestimation du diamètre de la sonde expose à des risques traumatiques directs, et sa sous-estimation entraîne des risques traumatiques indirects par surdistension du ballonnet bronchique (1-7). De plus, le calibre interne des lumières trachéales et bronchiques étant inférieur à la lumière d'une sonde d'intubation standard, la fibroscopie bronchique n'est réalisable qu'avec un fibroscope pédiatrique. Pour ces mêmes raisons, l'aspiration bronchique est moins efficace (30). Enfin, la sous-estimation du tube double-lumière augmente les résistances respiratoires par la génération d'une auto-PEP (31). Ce phénomène est d'autant plus visible si le patient est atteint de BPCO (Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive).

Les complications dues au choix de la taille du tube double-lumière peuvent aussi entraîner une hypoxémie peropératoire. La sous-estimation du tube double-lumière expose au risque de mobilisation secondaire (31). L'incidence de cette complication était de 32% dans l'étude de De Bellis et al., soit un tiers des tubes double-lumière mis en place (32). Les malpositions sont le plus souvent définies par une absence de positionnement du ballonnet bronchique dans la bronche souche, par une hernie du ballonnet bronchique au niveau de la carène, ou par une obstruction des bronches lobaires. Ces malpositions entraînent des hypoxémies plus nombreuses en peropératoire. Inoue et al. retrouvaient 97% de patients présentant un épisode d'hypoxémie attribuable à une malposition du tube double-lumière (33).

Le choix du tube double-lumière est donc un élément important de la prise en charge anesthésique en chirurgie thoracique. En pratique, les examens paracliniques ne sont pas utilisés dans cette indication, et seuls les critères anthropométriques, notamment la taille et le sexe, permettent de décider de la taille des sondes (8). Ceci aboutit à l'utilisation quasi-systématique de tubes double-lumière 37Fr ou 39Fr.

2.2 Les techniques de mesure des diamètres trachéo-bronchiques

2.2.1 Les différentes techniques d'imagerie

La radiographie thoracique est un examen simple et disponible en pratique courante. Cependant, elle permet une évaluation sommaire de l'arbre bronchique haut, les structures anatomiques étant visualisées de manière imprécise (13). La bronche souche gauche n'est visible que dans 50 à 69% des cas (14,15,21). Cet examen est donc insuffisant dans l'évaluation des dimensions des bronches.

La fibroscopie bronchique permet de détecter des anomalies anatomiques et d'évaluer les longueurs de la trachée et des bronches souches (25–27). Cet examen demande une expertise (34,35) et ne permet pas des mesures simples et rapides. Elle ne permet pas l'évaluation précise des diamètres de la trachée et des bronches, mais peut donner une impression globale et subjective de ces dimensions.

Le scanner thoracique est à l'heure actuelle l'outil le plus fiable de mesure des structures anatomiques bronchiques (17,20,21) permettant de visualiser avec une haute qualité de définition les structures proximales et distales (18). Il permet une mesure plus reproductible et simple des diamètres trachéo-bronchiques (19). Les techniques de mesures sur scanner 2D peuvent retrouver des valeurs faussement élevées des diamètres de la trachée et des bronches si elles sont réalisées sur des coupes transverses. En effet, l'image apparaît allongée lors d'une acquisition 2D, car le plan de coupe est horizontal alors que la bronche est oblique.

Les reconstructions multiplanaires permettent d'obtenir des images 3D des structures pulmonaires à partir d'acquisitions thoraciques 2D. Elles permettent une analyse plus précise de l'anatomie des bronches (36). Lors de la réalisation de mesures des diamètres trachéo-bronchiques sur ce type de reconstructions, l'angulation de la structure bronchique est prise en compte. Les mesures sont donc plus fiables car elles sont ajustées, le plan de coupe étant perpendiculaire à l'axe principal de la trachée ou de la bronche étudiée (20).

2.2.2 Intérêt et validation des mesures automatiques

Les mesures manuelles des diamètres bronchiques sont dépendantes de l'opérateur les réalisant, ce qui nécessite une formation aux techniques de mesure. Pour s'exempter de la variabilité de jugement interindividuelle, plusieurs études ont analysé des algorithmes de mesures semi-automatiques sur reconstructions multiplanaires (17). La mesure semi-automatique consiste en une segmentation automatique de la lumière bronchique, avec un choix manuel de la zone dont les dimensions sont recherchées. Elle permet une meilleure reproductibilité que les mesures manuelles, ainsi qu'une marge d'erreur plus faible lors du calcul des dimensions.

Les logiciels de mesures semi-automatiques des bronches sont en cours d'évaluation en postopératoire dans la transplantation pulmonaire afin d'étayer le diagnostic de dysfonction tardive du greffon, par mesure de l'épaisseur de la paroi bronchique (37). L'intérêt de ces mesures n'a jamais été évalué en préopératoire pour les transplantations pulmonaires.

Les mesures automatiques des diamètres bronchiques s'effectuent sur des reconstructions multiplanaires. Elles sont encore peu utilisées en pratique courante. Le temps de réalisation de ces procédures est moins long que lors des mesures semi-automatiques ou manuelles, car celles-ci nécessitent peu de manipulations de l'utilisateur. Seule la sélection des bronches à mesurer est nécessaire. Le choix des zones d'intérêt trachéo-bronchiques est défini préalablement et standardisé pour chaque patient analysé.

Le logiciel utilisé a été validé par une étude récente menée dans notre service, retrouvant une forte corrélation entre les mesures manuelles et automatiques de la trachée, des bronches souches gauche et droite. En effet, il n'existait pas de différence significative entre

ces deux techniques de mesure pour la trachée qui étaient de $19,0 \pm 2,7$ mm pour les mesures manuelles et $19,5 \pm 2,7$ mm pour les mesures automatiques (Tableau 1). De plus, les coefficients de corrélation étaient de $r^2=0,857$ ($p<0,001$) pour le petit axe de la bronche souche gauche, et $r^2=0,906$ ($p<0,001$) pour le petit axe de la bronche souche droite. Cet outil permet donc de manière fiable de substituer la mesure automatique à la mesure manuelle des diamètres de l'arbre trachéo-bronchique.

Tableau 1 : Comparaison des mesures manuelles et automatiques en reconstruction multiplanaire sur scanner thoracique chez le sujet sain

	Diamètre trachée (mm)	Diamètre BSG (mm)	Diamètre BSD (mm)
TDM/MPR Mesures manuelles	GA $19,0 \pm 2,7$ PA $15,7 \pm 2,7$	GA $13,30 \pm 2,40$ PA $11,10 \pm 1,90$	GA $15,80 \pm 2,50$ PA $12,80 \pm 2,20$
TDM/MPR Mesures automatiques	GA $19,5 \pm 2,7$ PA $15,6 \pm 2,5$	GA $13,60 \pm 2,30$ PA $11,10 \pm 1,90$	GA $16,10 \pm 2,50$ PA $12,70 \pm 2,10$

$p>0,05$ pour toutes les comparaisons entre le diamètre automatique et le diamètre manuel
 BSG : bronche souche gauche, BSD : bronche souche droite, MPR : reconstructions multiplanaires, GA : grand axe, PA : petit axe

2.3 La prédiction des diamètres trachéo-bronchiques chez le sujet sain

2.3.1 Facteurs prédictifs des dimensions de l'arbre trachéo-bronchique

Les premières études morphologiques ont été réalisées par autopsie (38–40) et ont retrouvé une corrélation entre le sexe et le diamètre de la trachée.

D'autres études, utilisant des radiographies thoraciques, infirment toute corrélation entre ces données et les diamètres de l'arbre trachéo-bronchique (14,41). Brodsky et al. n'ont pas retrouvé de lien entre les données anthropométriques (âge, poids, taille) et les dimensions

de la trachée (41), alors que Hannallah et al. retrouvaient une corrélation entre ces données et le diamètre de la bronche souche gauche chez l'homme (16).

Olivier et al. ont retrouvé une corrélation entre les diamètres transverses et antéro-postérieurs de la bronche souche gauche et la taille chez l'homme lors de reconstructions multiplanaires de scanners thoraciques (21). Dans cette étude, les données anthropométriques n'étaient pas corrélées aux autres dimensions de l'arbre trachéo-bronchique. Les mêmes relations ont été mises en évidence par Kim et al. qui retrouvaient la taille comme facteur prédictif du diamètre des bronches souches sur des reconstructions 3D (23). D'autres études retrouvaient que les diamètres de la trachée et des bronches souches étaient corrélés à la taille, au poids et à l'âge des patients à partir du même examen paraclinique (22,24). Les résultats de ces études sont synthétisés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Synthèse des facteurs prédictifs des dimensions de l'arbre trachéo-bronchique dans la littérature

Etude	Technique utilisée	Localisations étudiées	Facteurs prédictifs			
			Taille	Poids	Sexe	Age
Seymour et al. (39)	Autopsie	Trachée	NA	NA	+	NA
		BSG	NA	NA	+	NA
Brodsky et al. (41)	Radiographie	Trachée	-	-	NA	-
Hannallah et al. (16)	Radiographie	BSG	+	+	+	+
Olivier et al. (21)	MPR	Trachée	-	-	-	-
		BSG	+	-	NA	-
Erbele et al. (22)	MPR	Trachée	+	+	NA	+
		BSG	+	+	NA	+
		BSD	+	+	NA	+
Kim et al. (23)	MPR	BSG	+	NA	NA	NA
		BSD	+	NA	NA	NA
Mi et al. (24)	MPR	Trachée	+	+	NA	+

RX : radiographie, MPR : reconstruction multiplanaire, BSG : bronche souche gauche, BSD : bronche souche droite, + : corrélation retrouvée, - : pas de corrélation retrouvée, NA : non analysé

Plusieurs auteurs ont recherché des algorithmes de prédiction des diamètres. Hannallah et al. ont tenté de déterminer le diamètre de la bronche souche gauche en radiographie thoracique à travers la taille et le poids chez l'homme par la relation suivante (16) :

$$\text{Diamètre de la bronche souche gauche} = 0,032 \times \text{âge (ans)} + 0,072 \times \text{taille (cm)} - 2,043$$

Mi et al. ont eux essayé de prédire le diamètre antéro-postérieur de la trachée à partir d'une mesure scannographique avec MPR (24) :

$$\text{Diamètre trachéal antéro-postérieur} = 0,265 \times \text{taille (cm)} + 0,048 \times \text{âge (ans)} - 28,922$$

Aucun de ces algorithmes n'est utilisé en pratique courante.

Au total, malgré la différence de résultats de ces études, la taille et le sexe sont à l'heure actuelle considérés comme prédictifs des dimensions de l'arbre trachéo-bronchique, et notamment de la bronche souche gauche car il s'agit des critères utilisés en pratique dans le choix des tubes double lumière.

2.3.2 Diamètres de la trachée et des bronches chez le sujet sain

Devant l'impossibilité d'évaluer les dimensions trachéo-bronchiques à l'aide des critères anthropométriques, de nombreuses études ont recherché des mesures objectives des diamètres de la trachée et des bronches par des examens paracliniques afin de décrire l'anatomie chez le sujet sain.

En pédiatrie, les études concernant les dimensions de la trachée ont retrouvé une évolution morphologique avec l'âge. Le calibre de la trachée évolue de manière linéaire quel que soit le sexe avant l'âge de 18 ans (42,43) et celle-ci présente une morphologie plus circulaire qu'à l'âge adulte (44). Ulusoy et al. ont relevé des différences entre les mesures des diamètres transverse et antéro-postérieur selon le sexe et l'âge des patients sur des reconstructions 3D de scanners thoraciques (45). Ils ont identifié par ailleurs des anatomies trachéales variées, de forme circulaire, ovale, rectangulaire ou en fer à cheval. Il existe une prédominance masculine des formes circulaires, alors que la répartition des morphologies est plus diffuse chez les sujets de sexe féminin. Ces variations anatomiques peuvent entraîner des différences de dimensions pour les diamètres antéro-postérieurs et transverses. Ces

résultats sont également retrouvés pour les bronches souches. Seymour et al. ont analysé les dimensions de la bronche souche gauche dans une étude par autopsie. Ils ont retrouvé une morphologie circulaire (39), alors qu'Olivier et al. relevaient une forme plus fréquemment ovalaire, avec un diamètre transverse plus important que le diamètre antéro-postérieur sur des reconstructions multiplanaires scannographiques (21). Ces variations morphologiques sont dues à l'anatomie de la trachée et des bronches souches, ces structures présentant une partie membraneuse postérieure qui les rend souples et flexibles. La mesure d'un diamètre maximum et minimum est requise lors de l'évaluation de ces dimensions.

L'un des facteurs de variation des dimensions trachéo-bronchiques retrouvé est l'origine ethnique (23,24,46,47). En effet, plusieurs études, réalisées par autopsie ou mesures sur scanners thoraciques, retrouvent des diamètres trachéaux et bronchiques internes inférieurs dans les populations indiennes (46), mexicaines (47) et asiatiques (24).

De nombreuses études ont mesuré les dimensions de la trachée et des bronches chez le sujet sain, utilisant différents examens paracliniques. Les diamètres retrouvés pour chaque structure sont synthétisés dans les Tableaux 3, 4 et 5. Ces valeurs sont très différentes dans la littérature.

Tableau 3 : Synthèse des diamètres internes de la trachée dans la littérature

Etude	Type d'étude	Diamètre Hommes (mm)	Diamètre Femmes (mm)
Seymour et al. (39)	Autopsie	22,0 ± 1,5	19,0 ± 1,5
Brodsky et al. (41)	Radiographie	20,9 ± 0,32	16,9 ± 0,25
Eberle et al. (22)	TDM/MPR	TR 16,0 ± 2,0 AP 16,0 ± 3,0	
Mi et al. (24)	TDM/MPR	TR 17,1 ± 2,6 AP 14,9 ± 2,0	AP 19,0 ± 2,3 AP 14,9 ± 2,1

MPR : reconstruction multiplanaire, TR : transverse, AP : antéro-postérieur

Les données sont exprimées en moyenne ± écart-type

Tableau 4 : Synthèse des diamètres internes de la bronche souche gauche dans la littérature

Etude	Type d'étude	Diamètre Hommes (mm)	Diamètre Femmes (mm)
Seymour et al. (39)	Autopsie	16,5 ± 1,5	13 ± 1,0
Hannallah et al. (16)	Radiographie	12,4 ± 1,5	10,7 ± 1,0
Kim et al. (23)	TDM /MPR	TR 13,1 ± 2,2 AP 12,7 ± 1,8	TR 9,9 ± 2,0 AP 9,9 ± 2,0
Olivier et al. (21)	TDM /MPR	TR 13,5 ± 2,0 AP 12,0 ± 2,0	TR 11,6 ± 2,0 AP 10,5 ± 2,0
Mi et al. (24)	TDM /MPR	TR 13,1 ± 1,7 AP 11,6 ± 1,6	TR 11,3 ± 1,6 AP 10 ± 1,5

MPR : reconstruction multiplanaire, TR : transverse, AP : antéro-postérieur
Les données sont exprimées en moyenne ± écart-type

Tableau 5 : Synthèse des diamètres internes de la bronche souche droite dans la littérature

Etude	Type d'étude	Diamètre Hommes (mm)	Diamètre Femmes (mm)
Seymour et al. (39)	Cadavre	17,5 ± 2,0	14,0 ± 2,0
Eberle et al. (22)	TDM/MPR	TR 12,0 ± 2,0	
Kim et al. (23)	TDM/MPR	TR 15,1 ± 2,2 AP 15,3 ± 1,9	TR 11,8 ± 2,0 AP 13,2 ± 1,8
Mi et al. (24)	TDM/MPR	TR 14,1 ± 1,9 AP 14,1 ± 2,0	TR 12,3 ± 1,7 AP 12,2 ± 1,8

MPR : reconstruction multiplanaire, TR : transverse, AP : antéro-postérieur
Les données sont exprimées en moyenne ± écart-type

Les diamètres très différents retrouvés permettent de rendre compte de la variabilité interindividuelle chez le sujet sain. Cependant, toutes ces études excluaient les patients présentant une pathologie respiratoire sévère, un antécédent de chirurgie thoracique, ou

une compression trachéale ou bronchique. Nous pouvons penser qu'il existe une variabilité d'autant plus importante chez les sujets atteints de pathologie pulmonaire.

2.4 La transplantation pulmonaire

2.4.1 Technique chirurgicale

La transplantation pulmonaire est une thérapeutique datant de près de 30 ans. Les techniques chirurgicales et la prise en charge médicale ont largement progressé, permettant d'obtenir un taux de survie à un an qui approche les 90 % (48). Il existe 3 types de transplantations pulmonaires : la transplantation cœur-poumons, la transplantation mono-pulmonaire et la transplantation bi-pulmonaire. Cette dernière technique est devenue l'intervention la plus pratiquée, plusieurs études ayant mis en évidence un bénéfice en termes de survie lors des transplantations bi-pulmonaires par rapport aux transplantations mono-pulmonaires, avec une mortalité diminuée de 14,4% à un an (49,50).

Historiquement, les transplantations bi-pulmonaires étaient réalisées par une procédure « en bloc », ce qui sous-entendait une anastomose trachéale et l'implantation simultanée des deux greffons pulmonaires après mise en place d'une assistance circulatoire et pneumonectomie bilatérale. Cependant, il existait des déhiscences de cette anastomose de trachée dues à une ischémie des sutures bronchiques, retrouvées chez 25% des patients transplantés. Cette complication avait très souvent des conséquences létales expliquant son abandon au profit de la transplantation bilatérale séquentielle, avec réalisation d'anastomoses séparées au niveau des bronches souches droite et gauche, ce qui a permis de diminuer le nombre de complications respiratoires bronchiques post-opératoires (51,52). La réalisation de ces anastomoses en deux temps nécessite une pneumonectomie et implantation pulmonaire séquentielles. Pour cela, il est indispensable de procéder à une ventilation uni-pulmonaire d'un côté, puis de l'autre, grâce aux tubes double-lumière. La ventilation sélective doit être optimale pour chacun des côtés. Le choix du premier coté transplanté relève de la scintigraphie de ventilation perfusion réalisée en préopératoire, le

côté le moins fonctionnel étant le côté de la première pneumonectomie.

La première situation à risque d'hypoxémie lors d'une transplantation pulmonaire est l'induction anesthésique dans cette population de patients dont l'état respiratoire est précaire. Afin de diminuer ce risque, le patient est oxygéné à l'aide d'un masque facial en ventilation non-invasive avant le début de l'anesthésie. Lorsque l'indication de la transplantation pulmonaire est une pathologie suppurative, le patient est intubé dans un premier temps avec une sonde d'intubation standard, afin de réaliser une toilette bronchique. Cette manœuvre permet de diminuer le risque d'hypoxémie lors de l'intubation initiale, et de réduire le risque de contamination du greffon par des sécrétions bronchiques du poumon natif. Secondairement, l'intubation se fait à l'aide d'un tube double-lumière gauche afin de permettre la ventilation uni-pulmonaire. L'utilisation d'un tube double-lumière gauche par rapport à un tube double-lumière droit est systématique en transplantation pulmonaire pour des raisons chirurgicales s'ajoutant aux raisons citées précédemment. La bronche souche gauche étant plus longue que la bronche souche droite, le tube n'entrave pas la réalisation de la suture bronchique gauche. Celui-ci devrait être retiré en cas d'utilisation d'un tube double-lumière droit, la suture bronchique réalisée en amont de la bronche lobaire supérieure droite étant plus proche de la carène.

Le choix d'un tube double-lumière adapté est un enjeu d'autant plus important dans cette chirurgie à haut risque d'hypoxémie peropératoire, liée à d'autres facteurs que la ventilation (conditions hémodynamiques, hypertension artérielle pulmonaire ou HTAP, insuffisance cardiaque, saignement). L'ajout d'une ventilation sélective inadéquate peut avoir un retentissement important sur l'oxygénation du patient.

Les transplantés pulmonaires ont des sécrétions bronchiques souvent abondantes et la mise en place d'un tube sous-dimensionné entrave l'aspiration bronchique (30). De plus, la réalisation de fibroscopies bronchiques multiples au cours de l'intervention est rendue difficile par un calibre interne trop faible du tube. Afin d'adapter au mieux le calibre du tube double-lumière, la connaissance de l'anatomie trachéo-bronchique chez les transplantés est indispensable.

2.4.2 Anatomie trachéo-bronchique des transplantés pulmonaires

Les patients en attente de greffe pulmonaire présentent des pathologies respiratoires variées. Le registre de l'International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) retrouve quatre indications principales dans la greffe pulmonaire, représentant plus de 80% des étiologies : la mucoviscidose, la BPCO et plus particulièrement l'emphysème, la fibrose pulmonaire idiopathique (FPI), et l'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) (12). Dans ce registre mondial, l'emphysème est la première étiologie conduisant à une transplantation pulmonaire ; en France, la mucoviscidose domine les indications. Les patients doivent présenter des pathologies respiratoires très avancées pour être inscrits sur la liste d'attente de greffes pulmonaires, lorsqu'aucune autre alternative thérapeutique n'est possible. C'est dans cette catégorie de patients que les dysmorphies bronchiques les plus importantes sont attendues.

Il n'existe actuellement aucune étude évaluant les diamètres trachéo-bronchiques chez les transplantés pulmonaires. Plusieurs études se sont cependant intéressées aux 3 principales étiologies, chez des patients n'étant pas à un stade terminal de leur pathologie.

Concernant la mucoviscidose, les anomalies bronchiques caractéristiques sont les impacts muqueux et l'inflammation de la paroi bronchique entraînant à terme des bronchectasies. Ces signes et leurs localisations anatomiques sont très variables d'un patient à un autre et ne sont pas prédictibles par des examens fonctionnels respiratoires. En effet, les structures anatomiques normales permettent la compensation de la fonction respiratoire lors de la première phase de l'évolution de la maladie (53). Plusieurs études ont retrouvé une augmentation du nombre de bronchiectasies lors de l'aggravation de la pathologie (54,55) : 30% des patients présentent des bronchectasies à 3 mois, 60% à 3 ans.

Il existe dans la littérature une différence en termes de largeur de la paroi et de diamètre total décrite chez les patients présentant des bronchiectasies mais aucune différence sur le diamètre endoluminal n'a été mise en évidence (56,57). Cependant, les mesures des études citées ont été réalisées uniquement sur les bronches sous-segmentaires de la 3^{ème} à la 7^{ème} division et non pour la trachée et les bronches souches. De plus, dans chacune de ces études, le diamètre interne était utilisé comme critère dans des scores composites scannographiques ; les valeurs absolues de ces diamètres ne sont pas exposées dans la

littérature. Leur objectif n'était pas d'évaluer directement les différences de calibre trachéo-bronchique chez les patients atteints de pathologies pulmonaires.

Concernant la fibrose pulmonaire, aucune étude n'évalue les diamètres bronchiques en dehors des cas de bronchiectasies segmentaires et sous-segmentaires dans les pneumopathies interstitielles diffuses (58).

Dans la BPCO, la TDM thoracique permet de grader le stade de la pathologie (59–64) mais peu d'études s'intéressent à la mesure des diamètres bronchiques. La majorité des études ne retrouvaient pas de corrélation entre le diamètre endoluminal des bronches segmentaires et sous-segmentaires et la sévérité de la maladie (65,66). Le seul facteur identifié comme présentant une forte variation avec la gravité clinique était l'épaisseur de la paroi bronchique (67). Les bronches les plus impactées par la pathologie emphysémateuse sont d'après la littérature les bronches distales de moins de 2 mm (68–70), avec une atteinte de plus en plus importante lorsqu'on étudie des bronches de plus en plus distales (71). Cette atteinte prédominante des bronches distales explique le peu de littérature concernant les dimensions de la trachée et des bronches souches dans ces pathologies.

Une seule étude s'intéresse à la mesure des bronches proximales dans la BPCO à un stade avancé (72). Mourrissoux et al. ont réalisé des mesures des diamètres internes minimum et maximum des bronches souches droite et gauche sur des reconstructions multiplanaires de scanners thoraciques chez des patients atteints de BPCO modérée ($30\% < \text{VEMS} < 80\%$) et sévère ($\text{VEMS} < 30\%$). Il existait une différence significative concernant les dimensions bronchiques entre les deux groupes. En effet, les diamètres internes étaient significativement supérieurs dans le groupe BPCO sévère pour la bronche souche droite et pour la bronche souche gauche. Le groupe atteint de BPCO sévère présentait des diamètres internes supérieurs de 1.2 mm par rapport au groupe de sévérité modérée, ce qui correspond à une différence de deux tailles de tubes double-lumière.

Il existe probablement des différences anatomiques bronchiques chez le patient atteint de pathologie broncho-pulmonaire, s'ajoutant à la diversité interindividuelle chez le sujet sain. Nous pouvons penser que les patients atteints de mucoviscidose présenteraient de petits diamètres trachéo-bronchiques car il s'agit de patients de poids et taille bas. Les patients emphysémateux sont quant à eux plus âgés et souvent de poids plus important, avec des diamètres trachéo-bronchiques attendus plus importants. De plus, certaines atteintes

caractéristiques des pathologies nous font penser qu'une différence de diamètre endoluminal est possible. Les patients atteints de fibrose pourraient présenter des valeurs de diamètres plus élevées par traction bronchique. La destruction parenchymateuse lors de l'emphysème nous fait penser que les diamètres seraient également plus importants dans cette catégorie de population.

2.5 Synthèse

De nombreuses études ont porté sur les dimensions trachéo-bronchiques chez des patients sains ou devant être opérés de chirurgies thoraciques, mais aucune n'a porté sur les transplantés pulmonaires. Nous avons cherché à préciser ces dimensions à partir du scanner thoracique préopératoire.

3. Matériel et Méthodes

3.1 Type d'étude

Il s'agissait d'une étude rétrospective, monocentrique, réalisée à l'hôpital Foch à Suresnes. L'étude a reçu l'accord favorable du CERAR (Comité d'Ethique pour la Recherche en Anesthésie-Réanimation) sous le numéro IRB 00010254 - 2016 – 140 (Annexe).

3.2 Patients

Nous avons sélectionné tous les patients ayant bénéficié d'une transplantation bi-pulmonaire entre janvier 2012 et décembre 2015, quelle que soit l'étiologie de la transplantation. Les données concernant la population étudiée ont été relevées lors de chaque intervention dans une base de données. La base de données a été anonymisée avant son analyse statistique.

3.3 Imagerie utilisée et méthodes d'analyse

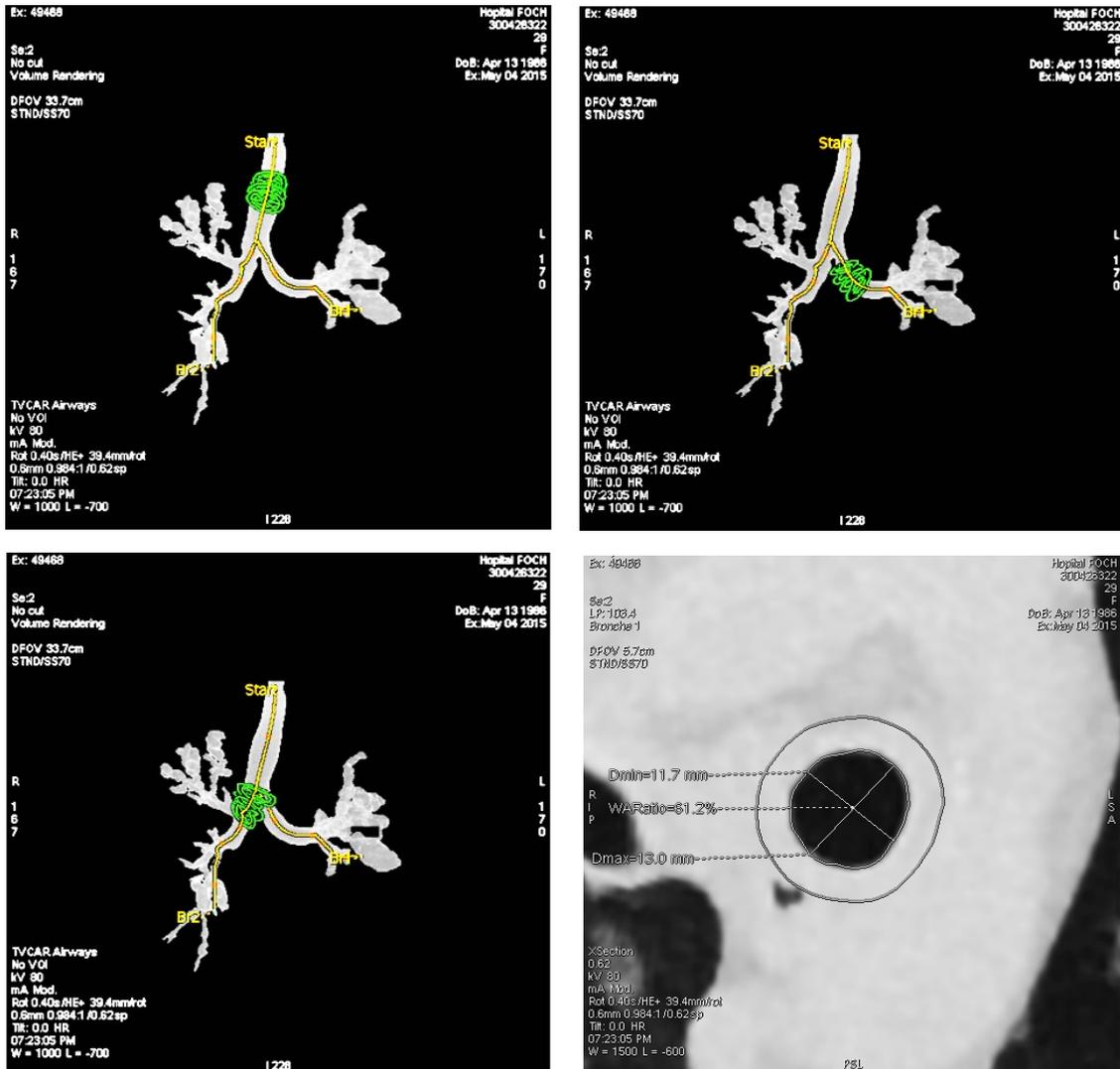
Nous avons recherché les scanners thoraciques réalisés avant la transplantation pulmonaire, à la date la plus proche de l'intervention chirurgicale. Les scanners étudiés ont été réalisés à l'hôpital Foch ou dans d'autres hôpitaux. Si le scanner thoracique provenait d'un autre établissement que l'hôpital Foch, il était numérisé et mis en commun sur le logiciel de partage de notre centre. Concernant les patients dont les examens avaient été réalisés sur notre site, il s'agissait d'un scanner thoracique en fin d'inspiration (MX 8000 IDT 16 ; General Electric Healthcare ou Siemens) avec les paramètres d'acquisition suivants : collimation 40 X 0,25 mm, un pas (pitch) de 0,9 mm, tension aux bornes du tube de 80 kv. Toutes les acquisitions utilisées étaient des séquences en filtre médiastinal (ou filtre mou), permettant une réalisation plus précise des mesures automatiques par le logiciel.

Une reconstruction multiplanaire de l'arbre bronchique a ensuite été réalisée avec le logiciel Thoracic VCAR de General Electric. Ce logiciel est adaptable à une station de travail Advantage et un serveur AW. Il permet de quantifier l'emphysème et de mesurer les diamètres bronchiques en utilisant des reconstructions multiplanaires. Les scanners thoraciques incluent systématiquement des séquences parenchymateuses et médiastinales. Thoracic VCAR fonctionne avec les coupes médiastinales, à condition qu'un filtre mou soit utilisé. Les acquisitions doivent être au moins millimétriques, de 0,6 mm à 1,25 mm. Les images utilisées sont sous format DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medicine). Une fois l'examen téléchargé, le logiciel réalise automatiquement les contours de la trachée et des bronches, créant une reconstruction 3D de l'arbre trachéo-bronchique. Cette reconstruction permet une première analyse anatomique globale de la trachée et des bronches.

Certains scanners thoraciques ont nécessité une reconstruction en deux temps lorsque des incidents sont survenus pendant la reconstruction multiplanaire. Lorsque les artéfacts ne permettaient pas la réalisation du contour automatique des structures bronchiques, les mesures étaient possibles en sélectionnant une bronche distale. Le logiciel réalisait alors un rattrapage des contours d'aval en amont, depuis les bronches distales jusqu'à la trachée. Les mesures automatiques étaient à ce stade réalisées de la même manière que si la reconstruction multiplanaire avait été obtenue en un temps. Seuls les patients ne disposant pas de scanner thoracique avec des coupes infra-centimétriques n'ont pas pu bénéficier de reconstruction 3D.

Les mesures automatisées permettent le recueil du diamètre interne minimum (petit axe) et maximum (grand axe) des zones d'intérêt trachéales et bronchiques. Elles ont été réalisées dans un axe perpendiculaire à l'axe de la trachée, ou perpendiculaire à l'axe de la bronche souche gauche ou droite. Elles sont exprimées en millimètres. Pour les obtenir, il suffisait de sélectionner les bronches souches gauche et droite, et de lancer l'analyse automatique des mesures (Figure 1).

Figure 1 : Images de reconstructions multiplanaires de l'arbre trachéo-bronchique



Analyse automatique pour la mesure de la trachée, de la bronche souche gauche à 2 cm de la carène et de la bronche souche droite à 5 mm de la carène

Exemple de mesure des diamètres minimum et maximum de la bronche souche gauche

Les diamètres ont été relevés pour la trachée en regard du rebord supérieur de la crosse aortique, pour la bronche souche gauche à 2 cm de la carène, et pour la bronche souche droite à 5 mm de la carène. Le choix de ces niveaux de mesure est lié aux caractéristiques du tube double-lumière. En effet, le plus grand diamètre du ballonnet bronchique dans les tubes double-lumière gauches est situé à 2 cm de la carène. Le niveau du diamètre de la bronche souche droite a été choisi afin de ne pas effectuer les mesures à l'origine de la

bronche lobaire supérieure droite. Le fonctionnement du logiciel permet une bonne reproductibilité des mesures. Celles-ci ont été effectuées par un opérateur entraîné, après formation sur le logiciel utilisé, afin qu'elles soient réalisées de manière standardisée.

3.4 Données recueillies

Il s'agissait :

- des données démographiques de la population étudiée : âge, taille, poids, sexe, étiologie de la transplantation pulmonaire,
- des anomalies anatomiques : ectopies bronchiques (bronches trachéales ou carénaires), agénésies bronchiques, bronches surnuméraires, anomalies de la paroi trachéo-bronchique (déviations trachéales, sténoses),
- des dimensions minimum et maximum de la trachée, des bronches souches droite et gauche selon l'étiologie de la transplantation pulmonaire.

3.5 Objectifs de l'étude

L'objectif principal était de décrire l'anatomie trachéo-bronchique chez les patients en attente de transplantation pulmonaire. Nous avons pour cela analysé :

- la morphologie de la trachée et des bronches souches.
- les diamètres minimum et maximum des trois principales étiologies de transplantation pulmonaire, c'est-à-dire la mucoviscidose, l'emphysème et la fibrose.

Les objectifs secondaires étaient de rechercher :

- une relation entre les données anthropométriques, la pathologie, et le diamètre minimum de la trachée et des bronches souches, diamètre présentant le plus d'intérêt pour le choix du tube double-lumière,
- les erreurs de choix du tube double-lumière lorsque seuls les critères anthropométriques étaient utilisés.

3.6 Analyse statistique

La distribution des données quantitatives a été évaluée par le test de Shapiro-Milk. Ces données sont exprimées en moyenne (\pm écart-type) lorsque leur distribution est normale et sous la forme de médiane [premier et troisième quartiles] dans le cas contraire. Les données qualitatives sont exprimées en valeur absolue (pourcentage). La représentation en « boîtes et moustaches » comprennent les moyennes, médianes, ainsi que les 5^{ème} et 95^{ème} percentiles.

Un test d'ANOVA a été réalisé pour rechercher une différence significative entre les diamètres minimum et maximum pour chaque catégorie de pathologie, la variable à expliquer étant le diamètre et la variable explicative la pathologie. Un test t a été utilisé pour comparer deux à deux les valeurs mesurées, les valeurs de p ayant été ajustées par la méthode de Holm.

Une régression linéaire multiple a été appliquée pour chaque diamètre minimum trachéal et bronchique de manière à rechercher d'éventuels facteurs prédictifs (caractéristiques anthropométriques, pathologies).

Un test t de Student a été utilisé pour comparer le diamètre théorique calculé à partir des données anthropométriques et le diamètre minimum de la bronche souche gauche mesuré.

La valeur de $p < 0,05$ a été considérée comme significative. Les logiciels Excel et R version 3.1.3 ont été utilisés.

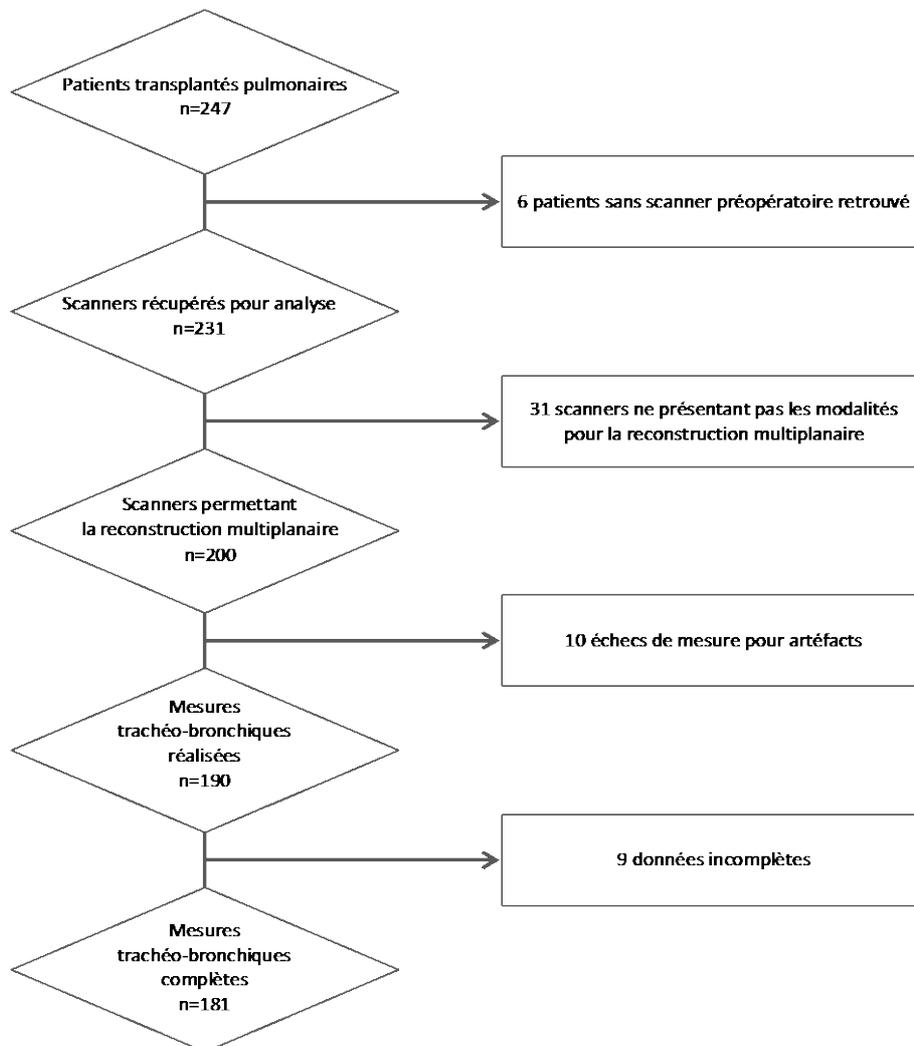
4. Résultats

4.1 Population

4.1.1 Patients inclus

La population initiale comprenait 237 patients ayant bénéficié d'une transplantation pulmonaire au cours des 4 dernières années.

Figure 2 : Diagramme de flux



56 patients ont été exclus de l'analyse (Figure 2) :

- pour 6 patients il n'existait pas de scanner thoracique disponible sur la plateforme de partage de notre centre avant la date d'intervention,
- pour 31 patients les scanners thoraciques ne comportaient pas de séquence avec coupes infra-centimétriques,
- pour 10 patients la mesure automatique était impossible,
- pour 9 patients les données étaient incomplètes.

La principale raison rendant les mesures automatiques impossibles ou incomplètes était la présence d'un remaniement parenchymateux important, engendrant des artéfacts empêchant la délimitation du contour des bronches. Dans un cas, la mesure de la bronche souche droite n'était pas possible car le patient avait bénéficié d'une pneumonectomie droite avant la transplantation pulmonaire. Dans un autre cas, le patient était intubé en préopératoire et le logiciel de mesures automatiques a analysé les dimensions de la sonde d'intubation et non de la trachée. Nous avons ainsi pu recueillir des données complètes pour 181 patients.

Les principales caractéristiques des patients sont résumées dans le Tableau 6. L'âge médian était 40 [15-63] ans, la taille médiane était 166 [145-192] cm, le poids médian était 53 [32-100] kg et la médiane d'index de masse corporelle était 19 [14-37] kg/m².

Les étiologies retrouvées ont été une mucoviscidose (n=83), l'emphysème pulmonaire (n=40), une fibrose pulmonaire (n=25), une dilatation des bronches (n=10), une bronchiolite oblitérante sur GVH (n=6), une pneumopathie auto-immune (n=4) et la sarcoïdose (n=2), ainsi que d'autres étiologies exceptionnelles (n=11). Six patients avaient bénéficié d'une retransplantation. La raison de cette reprise chirurgicale était une dysfonction tardive du greffon ou bronchiolite oblitérante.

Tableau 6 : Données démographiques et étiologies des patients inclus

	Patients (n=237)
Age (années)	40 [15-63]
Taille (cm)	166 [145-192]
Poids (kg)	53 [32-100]
IMC (kg/m²)	19 [14-37]
Mucoviscidose	83 (46)
Emphysème	40 (22)
Fibrose	25 (14)
Autres	33 (18)

IMC = Index de Masse Corporelle

Les données démographiques sont exprimées en médiane [premier et troisième quartiles]

Les étiologies sont exprimées en valeur absolue (pourcentage)

4.1.2 Critères anthropométriques en fonction de la pathologie pulmonaire

Pour l'analyse des diamètres minimum et maximum, nous avons sélectionné les principales étiologies de transplantation pulmonaire. Le nombre total de patients analysés était de 148 : 83 patients présentaient une mucoviscidose (46%), 40 patients étaient atteints d'emphysème (22%) et 25 patients souffraient de fibrose pulmonaire (14%) (Tableau 6).

Les patients inclus présentaient des critères anthropométriques significativement différents en fonction de la pathologie (Tableau 7). Les patients présentant une mucoviscidose étaient plus jeunes que les patients présentant une fibrose ou de l'emphysème. Les patients atteints de mucoviscidose étaient plus petits en termes de taille que les patients atteints de fibrose, et de poids que les patients atteints de fibrose et d'emphysème, avec près de 22 kg de moins que les patients atteints de fibrose et 10 kg de moins que dans l'emphysème. Les patients emphysémateux avaient des poids significativement plus faibles que les patients présentant une fibrose. Il n'existait pas de différence significative en termes de sexe entre les patients pour chaque pathologie.

Tableau 7 : Données démographiques des patients pour les trois principales étiologies

	Mucoviscidose	Emphysème	Fibrose	p			
				ANOVA	M vs E	M vs F	E vs F
Age (années)	29 [24-36]	57 [48-59]	52 [48-58]	<0,001	<0,001	<0,001	0,16
Taille (cm)	164,0 (± 8,9)	167,0 (± 9,0)	171,0 (± 9,5)	0,01	0,24	0,009	0,24
Poids (kg)	50,4 (± 10,6)	60,8 (± 10,3)	72,1 (± 14,8)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sexe Ma/Fe	38 (26) / 45 (30)	20 (14) / 20 (14)	18 (12) / 7 (4)	0,07			
Total	83 (56)	40 (27)	25 (17)				

Ma : masculin, Fe : féminin

M : mucoviscidose, E : emphysème, F : fibrose

L'âge est exprimé en médiane [premier et troisième quartiles]

La taille et le poids sont exprimés en moyenne (±écart-type)

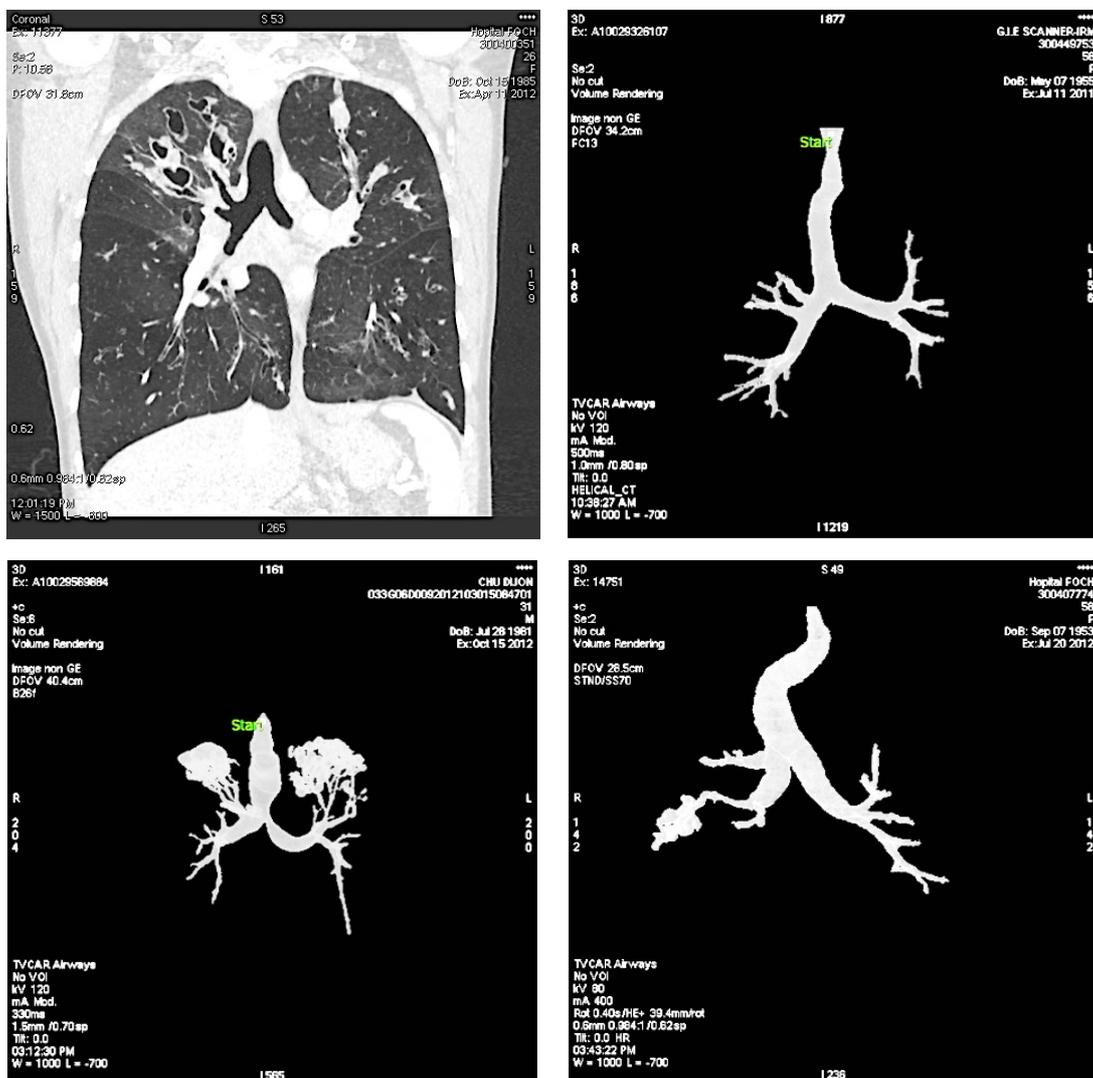
Le sexe et les totaux sont exprimés en valeur absolue (pourcentage)

4.2 Anomalies anatomiques

Nous avons retrouvé 17 anomalies anatomiques : bronches segmentaires ectopiques (n=6), déviations trachéales (n=6), bronches carénaires (n=3), sténose de la bronche souche droite (n=1) et sténose de la bronche souche gauche (n=1) (Figure 3). Les déviations de trachée et les sténoses n'étaient pas expliquées par des compressions extrinsèques.

Au total, il existait donc 9 variations de position des bronches, qu'elles soient supplémentaires (bronches ectopiques) ou déplacées (bronches carénaires).

Figure 3 : Images d'anomalies anatomiques sur scanner thoracique 2D et reconstructions multiplanaires



Bronches segmentaires ectopiques (images supérieures)

Bronches carénaires (images inférieures)

4.3 Mesures automatiques des diamètres trachéo-bronchiques

Nous avons analysé les résultats pour les principales étiologies de transplantation pulmonaire, à savoir la mucoviscidose, l'emphysème et la fibrose pulmonaire, les autres étiologies étant exceptionnelles. Au total, les diamètres minimum et maximum de la trachée, bronche souche gauche et bronche souche droite ont été analysés chez 148 patients (Tableau 8).

Tableau 8 : Synthèse des résultats des diamètres minimum et maximum pour chaque pathologie

		Mucoviscidose	Emphysème	Fibrose	p			
					ANOVA	M vs E	M vs F	F vs E
Diamètres Trachée	min	15,7 (± 2,7)	14,3 (± 2,1)	17,6 (± 4,2)	<0,001	0,02	0,007	<0,001
	max	18,7 (± 3,0)	19,3 (± 2,6)	20,5 (± 3,7)	0,03	0,3	0,03	0,2
Diamètres Bronche souche gauche	min	10,4 (± 1,8)	10,4 (± 1,6)	10,9 (± 2,8)	0,6			
	max	12,3 (± 1,9)	13,6 (± 2,2)	13,6 (± 2,4)	0,001	0,004	0,02	0,8
Diamètres Bronche souche droite	min	12,2 (± 2,2)	12,5 (± 1,7)	13,7 (± 3,4)	0,15			
	max	15,0 (± 2,4)	16,4 (± 2,4)	17,4 (± 3,2)	<0,001	0,02	0,004	0,13

min : minimum, max : maximum, M : mucoviscidose, E : emphysème, F : fibrose

Les diamètres sont exprimés en moyenne (± écart-type)

4.3.1 Diamètres de la trachée

Le diamètre minimum de la trachée était significativement différent en fonction de la pathologie ($p < 0,001$) (Figure 4). Les moyennes des diamètres étaient significativement différentes entre la mucoviscidose et l'emphysème ($p = 0,02$), la mucoviscidose et la fibrose ($p = 0,007$), l'emphysème et la fibrose ($p < 0,001$). Les diamètres étaient plus petits dans l'emphysème que dans la mucoviscidose, eux-mêmes plus petits que dans la fibrose.

Le diamètre maximum de la trachée était significativement différent entre les pathologies (Figure 5), mais seuls les diamètres pour la mucoviscidose et la fibrose étaient différents. Le diamètre était significativement plus petit dans la mucoviscidose que dans la fibrose ($p = 0,03$).

Figure 4 : Diamètre minimum de la trachée en fonction de la pathologie

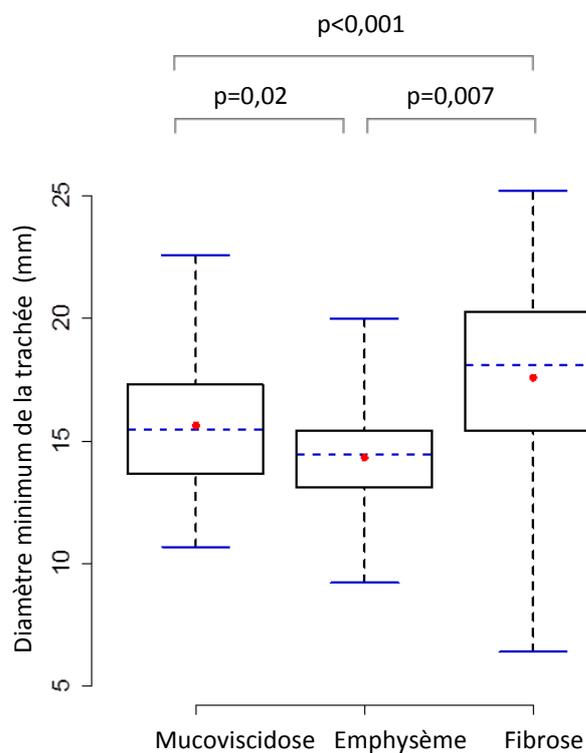
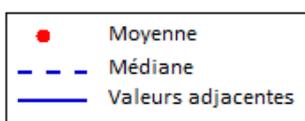
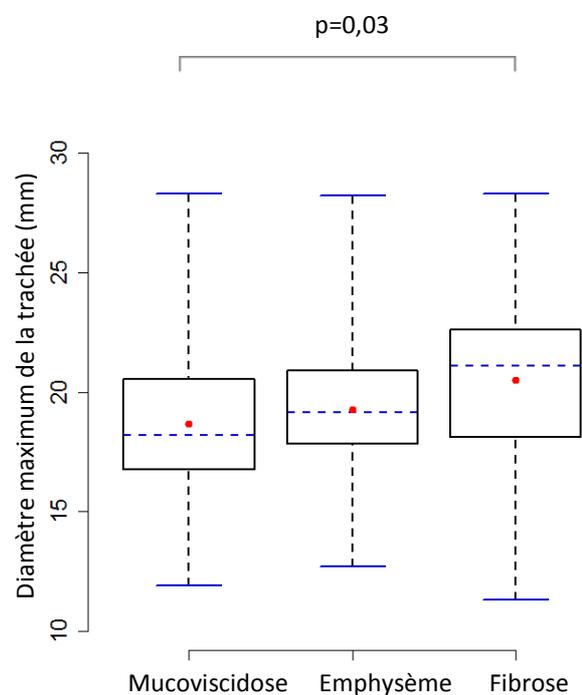


Figure 5 : Diamètre maximum de la trachée en fonction de la pathologie



4.3.2 Diamètres de la bronche souche gauche

Le diamètre minimum de la bronche souche gauche n'était pas significativement différent en fonction de la pathologie ($p=0,6$) (Figure 6).

Le diamètre maximum de la bronche souche gauche était significativement différent en fonction de la pathologie ($p=0,02$) (Figure 7). Les diamètres étaient différents entre la mucoviscidose et l'emphysème ($p=0,004$) et entre la mucoviscidose et la fibrose ($p=0,02$). Les patients atteints de mucoviscidose présentaient des diamètres plus petits que dans les autres pathologies.

Figure 6 : Diamètre minimum de la bronche souche gauche en fonction de la pathologie

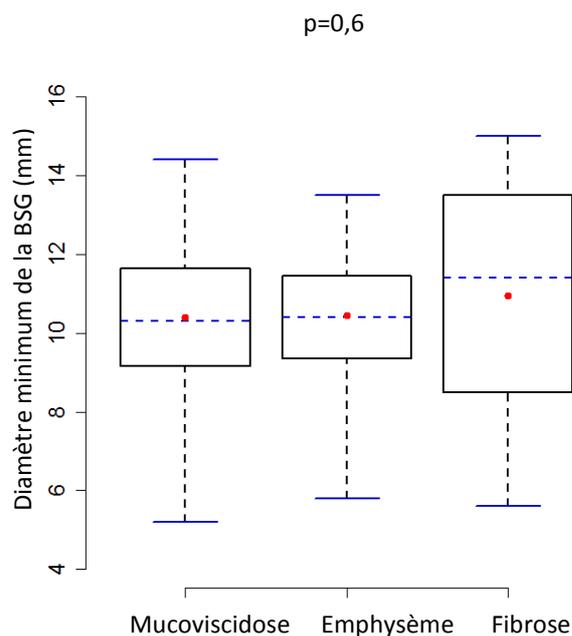
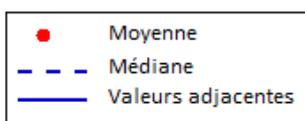
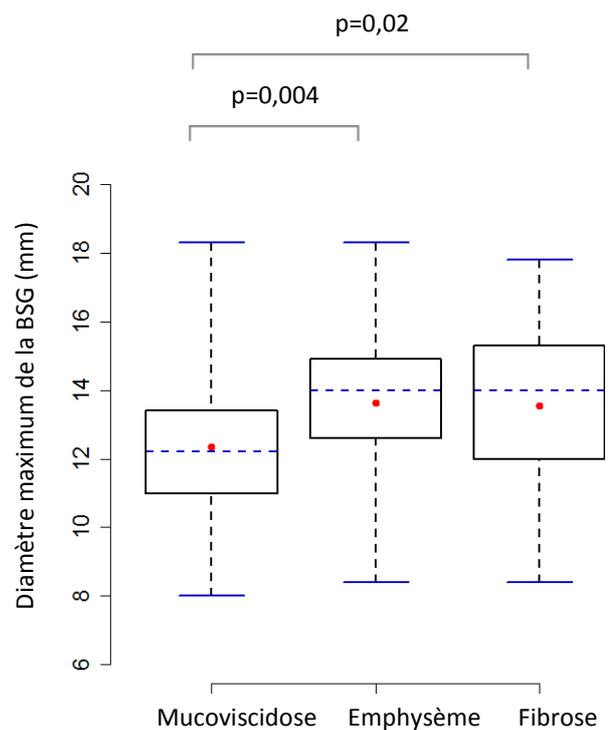


Figure 7 : Diamètre maximum de la bronche souche gauche en fonction de la pathologie



4.3.3 Diamètres de la bronche souche droite

Le diamètre minimum de la bronche souche droite n'était pas significativement différent en fonction de la pathologie ($p=0,15$) (Figure 8).

Le diamètre maximum de la bronche souche droite était significativement différent en fonction de la pathologie ($p<0,001$) (Figure 9). Les diamètres étaient différents entre la mucoviscidose et l'emphysème ($p=0,02$), et entre la mucoviscidose et la fibrose ($p=0,004$). Les patients atteints de mucoviscidose présentaient des diamètres plus petits que dans les autres pathologies.

Figure 8 : Diamètre minimum de la bronche souche droite en fonction de la pathologie

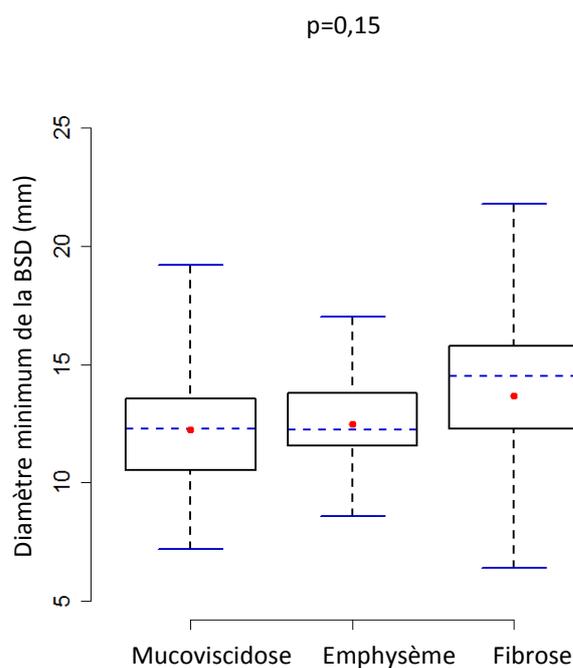
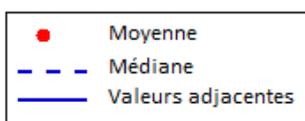
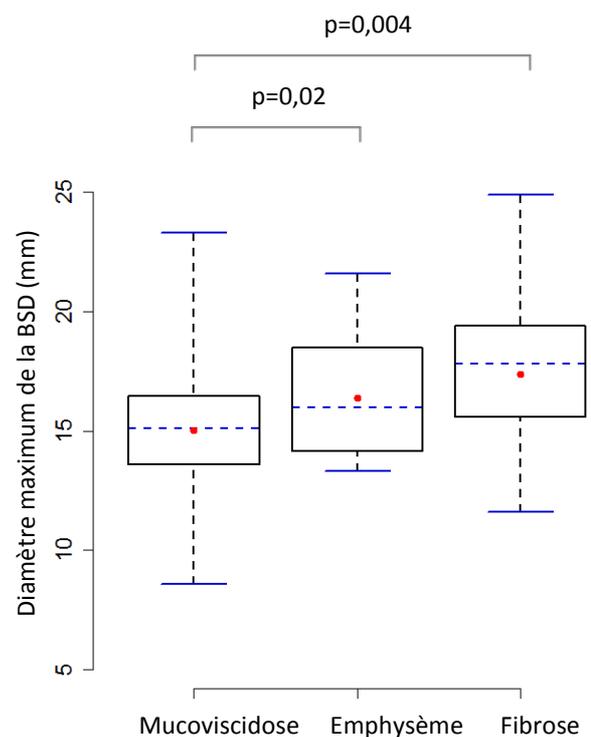


Figure 9 : Diamètre maximum de la bronche souche droite en fonction de la pathologie



4.4 Facteurs prédictifs du diamètre minimum de la trachée et des bronches

Le sexe ($p=0,04$) et la pathologie ($p<0,001$) étaient prédictifs du diamètre minimum de la trachée (Tableau 9). Le sexe masculin entraînait une augmentation du diamètre trachéal minimum par rapport au sexe féminin. Les patients emphysémateux avaient des diamètres inférieurs aux patients atteints de mucoviscidose.

Tableau 9 : Facteurs prédictifs du diamètre minimum de la trachée en analyse multivariée

	Coefficient	IC95%	p
Age	0,04	[-0,01 ; 0,08]	0,1
Sexe masculin	1,2	[0,03 ; 2,4]	0,04
Poids	<0,001	[-0,05 ; 0,05]	0,97
Taille	0,06	[-0,006 ; 0,1]	0,07
Emphysème	-2,4	[-3,8 ; -0,98]	0,001
Fibrose	0,4	[-1,2 ; 2,03]	0,6

IC 95% : intervalle de confiance 95%

Le sexe ($p=0,01$) et la taille ($p=0,02$) étaient prédictifs du diamètre minimum de la bronche souche gauche (Tableau 10). Le sexe masculin était prédictif d'un diamètre plus petit que le sexe féminin, et l'augmentation de la taille des patients entraînait une diminution du diamètre minimum de la bronche souche gauche.

Tableau 10 : Facteurs prédictifs du diamètre minimum de la bronche souche gauche en analyse multivariée

	Coefficient	IC95%	P value
Age	0,01	[-0,01 ; 0,04]	0,5
Sexe masculin	0,95	[0,2 ; 1,7]	0,01
Poids	0,009	[-0,02 ; 0,04]	0,53
Taille	0,05	[0,009 ; 0,1]	0,02
Emphysème	-0,5	[-1,4 ; 0,4]	0,3
Fibrose	-0,5	[-1,5 ; 0,5]	0,4

IC 95% : intervalle de confiance 95%

Le sexe ($p=0,03$) et la taille ($p=0,01$) étaient prédictifs du diamètre minimum de la bronche souche droite (Tableau 11). Le sexe masculin était prédictif d'un diamètre plus important de la bronche souche droite que le sexe féminin. L'augmentation de la taille entraînait une diminution de ce diamètre.

Tableau 11 : Facteurs prédictifs du diamètre minimum de la bronche souche droite en analyse multivariée

	Coefficient	IC95%	P value
Age	0,004	[-0,03 ; 0,04]	0,8
Sexe masculin	1,02	[0,1 ; 1,9]	0,03
Poids	0,007	[-0,03 ; 0,05]	0,7
Taille	0,07	[0,01 ; 0,1]	0,01
Emphysème	-0,2	[-1,3 ; 0,96]	0,8
Fibrose	0,5	[-0,8 ; 1,8]	0,4

IC 95% : intervalle de confiance 95%

4.5 Erreurs de choix du tube double-lumière

Nous avons retrouvé dans notre étude une grande variabilité des mesures des diamètres trachéo-bronchiques avec des valeurs extrêmes très basses, notamment pour le diamètre minimum de la bronche souche gauche, pouvant aller jusqu'à 6 mm. Les valeurs inférieures à 12 mm étaient fréquentes puisqu'elles concernaient 134 patients sur les 181 inclus, soit 74%. Nous utilisons dans notre service des sondes de type Mallinckrodt™ gauche (Tableau 12). Sachant que les plus petits tubes double-lumière disponibles dans notre centre sont des 35Fr et ont un diamètre externe de 11,7 mm, nous avons recherché les patients pour lesquels le tube double-lumière aurait été surdimensionné.

Tableau 12 : Equivalences des tailles de tubes double lumière gauches avec le diamètre externe en mm de type Mallinckrodt™ selon Medtronic

	Taille (French)	Diamètre externe (mm)
Tubes double lumière gauche	35	11,7
	37	12,3
	39	13,0
	41	13,7

Les critères habituellement retenus pour le choix d'un tube double-lumière sont ceux de Slinger et utilisent le sexe et la taille du patient (8) (Tableau 13).

Tableau 13 : Choix de la taille du tube double-lumière en fonction des critères anthropométriques selon Slinger (8)

Homme		Femme	
Taille (m)	Diamètre de la sonde (French)	Taille (m)	Diamètre de la sonde (French)
<1,60	37	<1,50	32
1,60-1,70	39	1,50-1,60	35
>1,70	41	>1,60	37

Lorsque nous appliquons ces abaques à chaque patient, et que nous comparons le résultat théorique obtenu au diamètre minimum de la bronche souche mesuré, il existe une différence significative ($p < 0,001$) de 2,2 [1,9-2,5] mm en médiane entre ces deux valeurs (Figure 10).

Pour 14 patients (10%) le diamètre théorique était plus petit que le diamètre minimal mesuré, et pour 130 patients (90%) le diamètre théorique était plus grand que le diamètre minimal mesuré (Figure 11). 1% des patients étudiés auraient été intubés avec une sonde inférieure de plus de 2 mm au calibre de leur bronche souche gauche, et 9% auraient eu une différence entre le diamètre de la sonde et le diamètre minimum de la bronche souche gauche comprise entre 0 et 2 mm en moins. Tous les autres patients auraient été intubés avec des tubes double-lumière surdimensionnés : 34% auraient eu une sonde comprise entre 0 et 2 mm de plus que le diamètre de leur bronche souche gauche, 41% auraient eu une sonde supérieure de 2 à 4 mm, 12% auraient eu une sonde supérieure de 4 à 6 mm, et 3% auraient eu une différence de plus de 6 mm.

Figure 10 : Différence entre les diamètres externes du tube double-lumière et les diamètres minimums moyens de la bronche souche gauche.

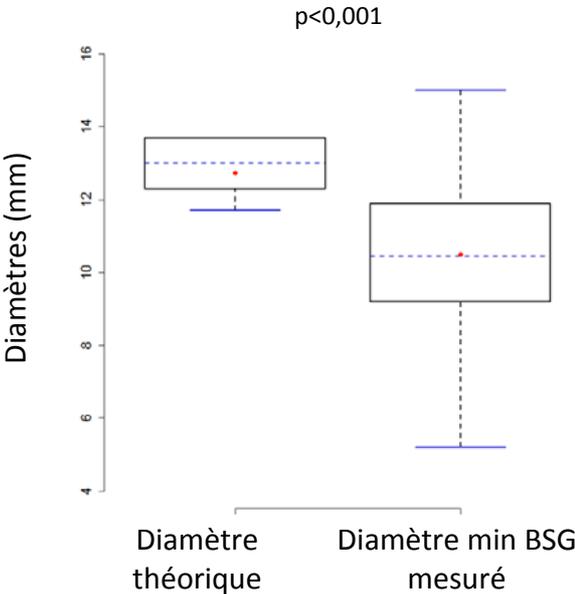
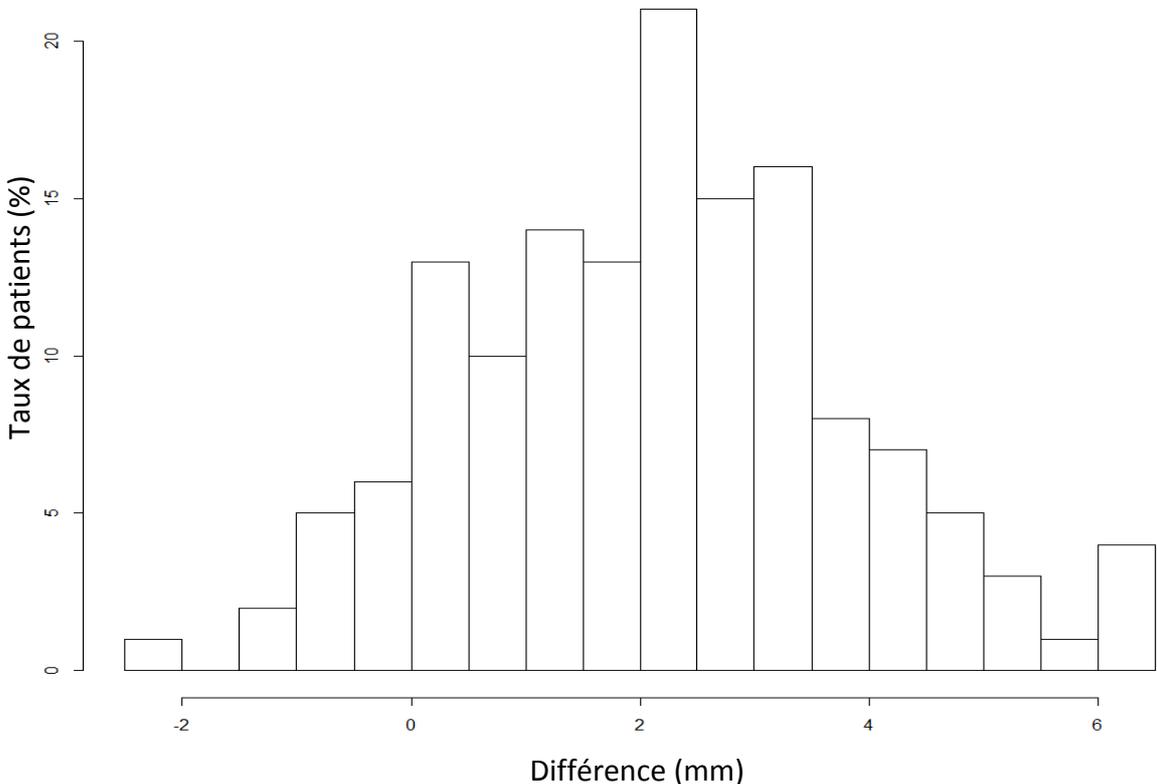


Figure 11 : Distribution de la différence entre le diamètre externe du tube double-lumière et le diamètre minimum de la bronche souche gauche



5. Discussion

Nous avons identifié 17 anomalies anatomiques lors de l'analyse des scanners thoraciques, soit une incidence de 10% dans la population incluse. Nous avons retrouvé une différence significative en fonction de la pathologie pour les diamètres minimum et maximum de la trachée, ainsi que pour les diamètres maximums de la bronche souche gauche et de la bronche souche droite. Les facteurs prédictifs étaient essentiellement anthropométriques, le sexe étant prédictif des diamètres minimums de la trachée et des bronches souches, et la taille étant prédictive du diamètre minimum des bronches souches. La pathologie était seulement prédictive du diamètre minimum de la trachée. Une surestimation de la taille du tube double-lumière aurait été observée chez 90% de la population étudiée si nous avions appliqué à chaque patient l'abaque habituellement utilisé en pratique courante. La différence médiane aurait été de 2,2 mm entre le diamètre interne minimum de la bronche souche gauche et le diamètre externe de la sonde.

5.1 Anomalies anatomiques bronchiques

Il existe deux types de remaniements bronchiques (73,74) :

- les anomalies congénitales,
- les anomalies acquises.

Les anomalies anatomiques congénitales sont rares. Elles représentent 56 pour 100 000 naissances (75). Il peut s'agir de bronches surnuméraires, ou plus fréquemment de bronches ectopiques, comprenant les déplacements ou absences de bronches. La majorité des anomalies retrouvées concerne les bronches ectopiques trachéales ou carénares. Ces anomalies n'ont dans la plupart des cas aucun retentissement clinique chez le patient en ventilation spontanée. Même si celles-ci peuvent parfois être responsables d'infections, d'hémoptysies ou de bronchectasies, la majorité de ces anomalies congénitales peut passer inaperçue en l'absence d'examen d'imagerie permettant le diagnostic. Dans les cas plus

rare d'agénésie ou d'hypoplasie bronchique, le lobe pulmonaire en regard présente une atélectasie définitive pouvant cette fois avoir un retentissement clinique.

Dans notre étude, nous avons retrouvé 17 patients présentant des anomalies anatomiques bronchiques, soit une incidence de 10% dans la population incluse.

Un nombre important d'anomalies congénitales a été relevé dans notre population de patients. En effet, nous avons retrouvé 6 bronches segmentaires ectopiques et 3 bronches trachéales et carénares, ce qui représente 5% de la population étudiée, incidence largement supérieure à celle dans la population générale. Celles-ci peuvent avoir un retentissement sur la ventilation du patient si elles ne sont pas détectées. Plusieurs cas d'hypoxémies peropératoires ont été relevés lors de l'obstruction de bronches trachéales ou carénares droites par une sonde d'intubation standard (76), un tube double-lumière (77,78) ou des bloqueurs bronchiques (79). Les anomalies n'avaient pas été détectées sur les radiographies thoraciques préopératoires et ont entraîné une atélectasie du lobe pulmonaire supérieur droit dépendant de la bronche occluse. Ces ectopies bronchiques nécessiteraient une évaluation préopératoire scannographique, afin d'anticiper les complications possibles lors de la ventilation uni-pulmonaire et d'optimiser la position du tube double-lumière pour éviter leur occlusion.

Les autres variations anatomiques sont des anomalies acquises. Nous avons retrouvé 6 déviations trachéales. La connaissance préopératoire de cette anomalie anatomique pourrait permettre aux équipes anesthésiques de se préparer à des difficultés d'intubation. Enfin, nous avons retrouvé deux sténoses, une de la bronche souche droite et une de la bronche souche gauche. Ces anomalies peuvent entraîner des difficultés lors de la mise en place du tube double-lumière et nécessiter une adaptation de la taille du tube lorsque celles-ci sont proximales. Par ailleurs, le risque d'échec d'intubation et de traumatisme bronchique est majoré lors de la présence de sténoses des bronches souches.

Notre étude montre que pour un patient sur 10 l'évaluation préopératoire par reconstruction multiplanaire aurait permis de diagnostiquer ces anomalies anatomiques.

5.2 Mesures des diamètres trachéo-bronchiques chez les transplantés

5.2.1 Mesures des diamètres trachéo-bronchiques

Nous avons recherché une différence entre les dimensions trachéo-bronchiques pour les trois principales étiologies de transplantation pulmonaire.

Il existait une différence entre les pathologies pour les diamètres minimum et maximum de la trachée. Le diamètre minimum était significativement plus petit dans l'emphysème que dans la mucoviscidose et la fibrose, alors que le diamètre maximum était plus petit dans la mucoviscidose que dans la fibrose. Ces discordances de résultats ne permettent pas de conclure sur une réelle différence entre ces trois pathologies pour le diamètre de la trachée, qui pourrait simplement être attribuable à la variabilité interindividuelle.

Concernant les bronches souches, il n'existait pas de différence significative entre les pathologies pour le diamètre minimum, la différence était significative uniquement pour le diamètre maximum. Les diamètres maximums de la bronche souche gauche et de la bronche souche droite étaient différents entre la mucoviscidose et l'emphysème, et entre la mucoviscidose et la fibrose, avec des diamètres plus petits chez les patients atteints de mucoviscidose. Les données anthropométriques retrouvées dans chaque population selon la pathologie montraient une différence de morphologie et d'âge. Ainsi, les patients atteints de mucoviscidose étaient plus jeunes et plus petits en taille et en poids que les patients emphysemateux ou atteints de fibrose. Il se pourrait que la différence retrouvée concernant les diamètres maximums des bronches souches soit due aux différences morphologiques des patients et non en lien avec la pathologie.

Le diamètre minimum est la valeur la plus pertinente car il s'agit du diamètre qui devrait être utilisé dans le choix du tube double-lumière. Au-dessus de cette valeur, il existe un risque de traumatisme trachéo-bronchique. Notre étude n'a pas mis en évidence de différence concernant ce diamètre.

Aucune étude n'a mesuré et exposé les diamètres de la trachée et des bronches souches dans la mucoviscidose et la fibrose, et une seule étude les a mesurés dans la BPCO sévère, il est donc difficile de comparer nos résultats à une population de sujets présentant une atteinte pulmonaire.

Nous avons regardé plus particulièrement le diamètre minimum de la bronche souche gauche, les tubes double-lumière gauches étant les seuls utilisés en transplantation pulmonaire. Les diamètres minimums de la bronche souche gauche semblent identiques à ceux retrouvés dans la population générale lors de l'analyse des études effectuées sur scanner thoracique après reconstruction multiplanaire (Tableau 14).

Tableau 14 : Diamètres minimums de la bronche souche gauche chez les sujets sains et atteints de pathologies pulmonaires en reconstruction multiplanaire

Etude	Population étudiée	Diamètre hommes (mm)	Diamètre femmes (mm)
Kim et al. (23)	Sujets sains	12,7 (± 1,8)	9,9 (± 2,0)
Olivier et al. (21)	Sujets sains	12,0 (± 2,0)	10,5 (± 2,0)
Mi et al. (24)	Sujets sains	11,6 (± 1,6)	10,0 (± 1,5)
Evaluation des mesures automatiques (en cours de publication)	Sujets sains	11,1 (± 1,9)	
Mourissoux et al. (72)	BPCO modérée	10,7 (8,9–11,9)	
	BPCO sévère	11,8 (11,2–12,4)	
Etude actuelle	Mucoviscidose	10,4 (± 1,8)	
	Emphysème	10,4 (± 1,6)	
	Fibrose	10,9 (± 2,8)	

BPCO : broncho-pneumopathie chronique obstructive

5.2.2 Facteurs prédictifs des diamètres minimums

Nous avons retrouvé que le sexe était un facteur prédictif du diamètre minimum de la trachée et des bronches souches. Ces résultats concordent avec plusieurs études de la littérature réalisées chez le sujet sain, pour la trachée et la bronche souche gauche (16,39), ou seulement pour la bronche souche gauche (21). La taille était uniquement prédictive du diamètre minimum des bronches souches dans notre étude. Ce résultat est en accord avec plusieurs données de la littérature chez le sujet sain (16,21–23). Cependant, le sens de

variation des diamètres en fonction de ces critères était différent selon la structure étudiée. Pour la bronche souche gauche, le sexe masculin entraînait une diminution du diamètre minimum, alors qu'il entraînait une augmentation du diamètre minimum de la bronche souche droite. Nous n'avons donc pas retrouvé de facteur prédictif anthropométrique fiable. Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence la pathologie comme facteur prédictif du diamètre minimum des bronches souches, et plus particulièrement de la bronche souche gauche, celle-ci n'étant rattachée qu'à la prédiction du diamètre minimum de la trachée.

5.2.3 Erreurs de choix du tube double-lumière

En appliquant l'abaque habituellement utilisé en pratique courante pour le choix du tube double-lumière à chaque patient, et en comparant le résultat au diamètre minimum de la bronche souche gauche mesuré, seulement 10% des tubes double-lumière auraient été adaptés. 90% des tubes double-lumière auraient été surdimensionnés, avec un diamètre externe médian plus large de 2,2 mm que le diamètre interne de la bronche souche gauche. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature retrouvant une tendance à la surdimension des tubes double-lumière lors des intubations sélectives (9,10).

Cependant, la différence médiane retrouvée est très élevée, représentant l'écart entre le diamètre externe d'une sonde 35Fr et 41Fr. De plus, 41% des patients, soit presque la moitié de l'effectif, recevaient un tube double-lumière surdimensionné de 2 à 4 mm par rapport au diamètre minimum de leur bronche souche gauche. Cette différence pouvait atteindre plus de 6 mm. Nous avons retrouvé une incidence particulièrement élevée des surdimensions dans notre étude. Ce résultat semble difficilement interprétable aux vues du peu de traumatismes bronchiques effectivement relevés en postopératoire des transplantations pulmonaires. La forte proportion de tubes double-lumière surdimensionnés devrait avoir un retentissement clinique sur de nombreux patients, pourtant les traumatismes attribuables à la sonde d'intubation en postopératoire restent exceptionnels. Malgré le remaniement des bronches souches dû aux sutures bronchiques, il est difficilement imaginable qu'autant de lésions passent inaperçues.

5.3 Réalisation des mesures automatiques dans notre étude

Dans notre étude, les mesures automatisées des bronches ont été possibles chez 80% des patients, malgré la présence d'un remaniement parenchymateux important.

Le logiciel utilisé est adaptable sur toutes les stations de travail permettant l'interprétation des scanners thoraciques. De plus, les manipulations nécessaires au recueil des dimensions trachéo-bronchiques ont été faciles à réaliser. Le temps moyen d'obtention des données était de 5min par patient, incluant la phase de reconstruction multiplanaire, ce qui rend cette technique applicable dans l'activité clinique quotidienne. Cependant, certaines conditions doivent être remplies pour l'obtention des mesures et pour 47 patients il a été impossible de recueillir les données.

5.4 Limites de l'étude

Il s'agissait d'une étude rétrospective. Les mesures faites sur les scanners ont été réalisées à distance de l'examen. La date de l'examen était parfois éloignée de la date d'intervention, il est donc possible que le calibre des bronches se soit modifié lors de l'aggravation de la pathologie causale. Cependant, notre étude visait à rechercher des différences de calibres de la trachée et des bronches souches chez des patients atteints de pathologies pulmonaires sévères, ce qui aurait déjà été le cas malgré l'éloignement entre la date du scanner et de la date d'intervention.

20% des patients ont été exclus : 2,5% pour absence de scanner thoracique retrouvé avant la date d'intervention, 13% pour absence de coupes thoraciques millimétriques, et 4,5% pour échec de réalisation des mesures dû à des artefacts. Les mesures automatisées multiplanaires ne sont donc pas réalisables dans toutes les situations de la pratique courante. Cependant, lorsque les reconstructions 3D étaient disponibles, les diamètres trachéo-bronchiques ont pu être évalués chez 95,5% des patients.

Nous n'avons pas tenu compte de la longueur des bronches dans notre étude. En effet, les distances des zones de mesures par rapport à la carène des bronches souches droite et gauche

étaient standardisées respectivement à 5 mm et 2 cm. Or, il existe une variabilité interindividuelle concernant aussi les longueurs de ces structures. De plus, concernant la bronche souche droite, les mesures n'ont pas été réalisées au niveau de la zone de positionnement du ballonnet bronchique, afin d'éviter qu'elles ne soient faites en regard de la bronche lobaire supérieure droite. Il ne s'agit donc pas du diamètre présentant le plus d'intérêt clinique. Cependant, lors de notre lecture des scanners thoraciques, nous avons pu constater que les diamètres différaient très peu selon la zone d'analyse, lorsqu'il s'agissait de quelques millimètres de différence.

La principale limite de notre étude relève paradoxalement de la pathologie des patients, qui expliquerait que les scanners thoraciques n'ont pu être réalisés en conditions standardisées, et que les valeurs retrouvées sous-estiment les diamètres réels. En effet, les patients, insuffisants respiratoires chroniques au stade terminal, étaient probablement dans l'impossibilité de maintenir une apnée en inspiration. Ainsi, l'acquisition a pu être réalisée à des moments différents du cycle respiratoire. De plus, de nombreux transplantés pulmonaires présentent un certain degré de bronchomalacie, entraînant une diminution des diamètres trachéo-bronchiques en l'absence d'inspiration profonde et ce d'autant plus qu'ils sont en décubitus dorsal.

Enfin, une seule lecture des scanners a été réalisée. Une deuxième lecture par un autre opérateur entraîné aurait permis de dépister d'éventuelles erreurs de mesure. Toutefois, l'emploi d'un logiciel de mesures automatiques a limité ce risque.

6. Conclusion

Nous avons décrit l'anatomie trachéo-bronchique à partir de reconstructions multiplanaires scannographiques chez les transplantés pulmonaires.

Les anomalies anatomiques bronchiques ont une incidence élevée dans notre étude et doivent être dépistées afin d'optimiser la ventilation uni-pulmonaire.

Les diamètres trachéo-bronchiques ne varient pas en fonction de la pathologie. Le morphotype très différent des patients en fonction de la pathologie n'entraîne pas de variation homogène des diamètres et nous n'avons pas retrouvé de facteur prédictif fiable des diamètres minimums de la trachée et des bronches souches.

Le choix du tube double-lumière en fonction de la taille et du sexe amènerait à une surestimation de la taille des sondes chez 90% des patients inclus.

Les mesures automatisées nous ont permis d'évaluer les diamètres trachéo-bronchiques chez les transplantés pulmonaires. Toutefois, plusieurs éléments nous amènent à discuter la pertinence de cette méthode. Les patients étudiés sont dans l'incapacité de maintenir une inspiration profonde et la possibilité d'une bronchomalacie nous fait penser qu'il existe une sous-estimation des diamètres. Ainsi, des études complémentaires comparant les mesures automatiques aux valeurs retrouvées lors de fibroscopies bronchiques pourraient permettre de préciser la place de cette technique dans l'évaluation des diamètres trachéo-bronchiques chez les transplantés pulmonaires.

Bibliographie

1. Hannallah MS. Pneumothorax complicating the use of a Univent endotracheal tube: a different mechanism. *Anesth Analg.* juill 1993;77(1):200.
2. Huang C-C, Chou A-H, Liu H-P, Ho C-Y, Yun M-W. Tension pneumothorax complicated by double-lumen endotracheal tube intubation. *Chang Gung Med J.* juill 2005;28(7):503- 7.
3. Sivalingam P, Tio R. Tension pneumothorax, pneumomediastinum, pneumoperitoneum, and subcutaneous emphysema in a 15-year-old Chinese girl after a double-lumen tube intubation and one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* juin 1999;13(3):312- 5.
4. Hartman WR, Brown M, Hannon J. Iatrogenic Left Main Bronchus Injury following Atraumatic Double Lumen Endotracheal Tube Placement. *Case Rep Anesthesiol.* 2013;2013:524348.
5. Cools E, Neyrinck AP. Left mainstem bronchus rupture due to a left-sided double lumen tube. *Acta Anaesthesiol Belg.* 2015;66(4):31- 3.
6. Kim HK, Jun JH, Lee HS, Choi YR, Chung MH. Left mainstem bronchial rupture during one-lung ventilation with Robertshaw double lumen endobronchial tube -A case report-. *Korean J Anesthesiol.* déc 2010;59 Suppl:S21-25.
7. Zinga E, Dangoisse M, Lechat JP. Tracheal perforation following double-lumen intubation: a case report. *Acta Anaesthesiol Belg.* 2010;61(2):71- 4.
8. Slinger P. Choosing the appropriate double-lumen tube: a glimmer of science comes to a dark art. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* avr 1995;9(2):117- 8.
9. Zani G, Stefano M, Tommaso BF, Marco R, Salvatore B, Antonio C, et al. How clinical experience leads anesthetists in the choice of double-lumen tube size. *J Clin Anesth.* août 2016;32:1- 3.
10. Hannallah M, Johnson W, Krishnan P. Revisiting the question of the appropriate left double-lumen endobronchial tube size for an individual patient. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* déc 2014;28(6):e53-54.
11. Benumof JL, Partridge BL, Salvatierra C, Keating J. Margin of safety in positioning modern double-lumen endotracheal tubes. *Anesthesiology.* nov 1987;67(5):729- 38.
12. Masson E. Indications de la transplantation pulmonaire : sélection des candidats, critères d'inscription en liste d'attente, choix du type d'intervention [Internet]. *EM-Consulte.* [cité 5 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/article/1033155/alertePM>
13. Speets AM, Graaf Y van der, Hoes AW, Kalmijn S, Sachs AP, Rutten MJ, et al. Chest radiography in general practice: indications, diagnostic yield and consequences for patient management. *Br J Gen Pr.* 1 août 2006;56(529):574- 8.
14. Hampton T, Armstrong S, Russell WJ. Estimating the diameter of the left main bronchus. *Anaesth Intensive Care.* oct 2000;28(5):540- 2.
15. Brodsky JB, Lemmens HJM. Left double-lumen tubes: clinical experience with 1,170 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* juin 2003;17(3):289- 98.
16. Hannallah MS, Benumof JL, Ruttimann UE. The relationship between left mainstem bronchial diameter and patient size. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* avr 1995;9(2):119- 21.
17. Montaudon M, Berger P, de Dietrich G, Braquelaire A, Marthan R, Tunon-de-Lara

- JM, et al. Assessment of airways with three-dimensional quantitative thin-section CT: in vitro and in vivo validation. *Radiology*. févr 2007;242(2):563- 72.
18. Hartman TE, Primack SL, Lee KS, Swensen SJ, Müller NL. CT of bronchial and bronchiolar diseases. *RadioGraphics*. 1 sept 1994;14(5):991- 1003.
 19. Desai SR, Wells AU, Cheah FK, Cole PJ, Hansell DM. The reproducibility of bronchial circumference measurements using computed tomography. *Br J Radiol*. mars 1994;67(795):257- 62.
 20. Lee JW, Son J-S, Choi J-W, Han Y-J, Lee J-R. The comparison of the lengths and diameters of main bronchi measured from two-dimensional and three-dimensional images in the same patients. *Korean J Anesthesiol*. mars 2014;66(3):189- 94.
 21. Olivier P, Hayon-Sonsino D, Convard JP, Laloë P-A, Fischler M. Measurement of left mainstem bronchus using multiplane CT reconstructions and relationship between patient characteristics or tracheal diameters and left bronchial diameters. *Chest*. juill 2006;130(1):101- 7.
 22. Eberle B, Weiler N, Vogel N, Kauczor HU, Heinrichs W. Computed tomography-based tracheobronchial image reconstruction allows selection of the individually appropriate double-lumen tube size. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. oct 1999;13(5):532- 7.
 23. Kim D, Son J-S, Ko S, Jeong W, Lim H. Measurements of the length and diameter of main bronchi on three-dimensional images in Asian adult patients in comparison with the height of patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. août 2014;28(4):890- 5.
 24. Mi W, Zhang C, Wang H, Cao J, Li C, Yang L, et al. Measurement and analysis of the tracheobronchial tree in Chinese population using computed tomography. *PloS One*. 2015;10(4):e0123177.
 25. Paradis TJ, Dixon J, Tieu BH. The role of bronchoscopy in the diagnosis of airway disease. *J Thorac Dis*. déc 2016;8(12):3826- 37.
 26. McLean AN, Semple PA, Franklin DH, Petrie G, Millar EA, Douglas JG. The Scottish multi-centre prospective study of bronchoscopy for bronchial carcinoma and suggested audit standards. *Respir Med*. sept 1998;92(9):1110- 5.
 27. Amin N, Tarwade P, Shetmahajan M, Pramesh CS, Jiwnani S, Mahajan A, et al. A randomized trial to assess the utility of preintubation adult fiberoptic bronchoscope assessment in patients for thoracic surgery requiring one-lung ventilation. *Ann Card Anaesth*. 2016;19(2):251- 5.
 28. Schweizer A, de Perrot M, Hohn L, Spiliopoulos A, Licker M. Massive contralateral pneumonia following thoracotomy for lung resection. *J Clin Anesth*. déc 1998;10(8):678- 80.
 29. Narayanaswamy M, McRae K, Slinger P, Dugas G, Kanellakos GW, Roscoe A, et al. Choosing a lung isolation device for thoracic surgery: a randomized trial of three bronchial blockers versus double-lumen tubes. *Anesth Analg*. avr 2009;108(4):1097- 101.
 30. Soberman MS, Kraenzler EJ, Licina M, Fraser CD, Kirby TJ. Airway management during bilateral sequential lung transplantation for cystic fibrosis. *Ann Thorac Surg*. sept 1994;58(3):892- 4.
 31. 51e congrès de la Sfar. Ventilation unipulmonaire peropératoire [Internet]. [cité 17 févr 2017]. Disponible sur: http://jpmiss2.free.fr/Divers/SFAR%202009/dossier/2009/med_B978-2-8101-0173-3.c0033.html
 32. de Bellis M, Accardo R, Di Maio M, La Manna C, Lamanna C, Rossi GB, et al. Is flexible bronchoscopy necessary to confirm the position of double-lumen tubes before thoracic surgery? *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. oct

2011;40(4):912- 6.

33. Inoue S, Nishimine N, Kitaguchi K, Furuya H, Taniguchi S. Double lumen tube location predicts tube malposition and hypoxaemia during one lung ventilation. *Br J Anaesth.* févr 2004;92(2):195- 201.
34. Facciolongo N, Patelli M, Gasparini S, Lazzari Agli L, Salio M, Simonassi C, et al. Incidence of complications in bronchoscopy. Multicentre prospective study of 20,986 bronchoscopies. *Monaldi Arch Chest Dis Arch Monaldi Mal Torace.* mars 2009;71(1):8- 14.
35. Pue CA, Pacht ER. Complications of fiberoptic bronchoscopy at a university hospital. *Chest.* févr 1995;107(2):430- 2.
36. Beigelman-Aubry C, Brillet P-Y, Grenier PA. MDCT of the airways: technique and normal results. *Radiol Clin North Am.* mars 2009;47(2):185- 201.
37. Doellinger F, Weinheimer O, Zwiener I, Mayer E, Buhl R, Fahlenkamp UL, et al. Differences of airway dimensions between patients with and without bronchiolitis obliterans syndrome after lung transplantation—Computer-assisted quantification of computed tomography. *Eur J Radiol.* 1 août 2016;85(8):1414- 20.
38. Jesseph JE, Merendino KA. The dimensional interrelationships of the major components of the human tracheobronchial tree. *Surg Gynecol Obstet.* août 1957;105(2):210- 4.
39. Seymour AH. The relationship between the diameters of the adult cricoid ring and main tracheobronchial tree: a cadaver study to investigate the basis for double-lumen tube selection. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* juin 2003;17(3):299- 301.
40. Otoch JP, Minamoto H, Perini M, Carneiro FO, de Almeida Artifon EL. Is there a correlation between right bronchus length and diameter with age? *J Thorac Dis.* juin 2013;5(3):306- 9.
41. Brodsky JB, Macario A, Mark JB. Tracheal diameter predicts double-lumen tube size: a method for selecting left double-lumen tubes. *Anesth Analg.* avr 1996;82(4):861- 4.
42. Chunder R, Nandi S, Guha R, Satyanarayana N. A morphometric study of human trachea and principal bronchi in different age groups in both sexes and its clinical implications. *Nepal Med Coll J NMCJ.* déc 2010;12(4):207- 14.
43. Griscom NT, Wohl ME. Dimensions of the growing trachea related to age and gender. *AJR Am J Roentgenol.* févr 1986;146(2):233- 7.
44. Griscom NT. Computed tomographic determination of tracheal dimensions in children and adolescents. *Radiology.* nov 1982;145(2):361- 4.
45. Ulusoy M, Uysal II, Kivrak AS, Ozbek S, Karabulut AK, Paksoy Y, et al. Age and gender related changes in bronchial tree: a morphometric study with multidetector CT. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* août 2016;20(16):3351- 7.
46. Prasanna Kumar S, Ravikumar A. Biometric study of the internal dimensions of subglottis and upper trachea in adult Indian population. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg Off Publ Assoc Otolaryngol India.* janv 2014;66(Suppl 1):261- 6.
47. Munguía-Canales DA, Ruiz-Flores J, Vargas-Mendoza GK, Morales-Gómez J, Méndez-Ramírez I, Murata C. Tracheal dimensions in the Mexican population. *Cir Cir.* déc 2011;79(6):505- 10.
48. Van Raemdonck D, Klepetko W, Verleden GM, Daenen W, Coosemans W, Decker G, et al. [Surgical aspects of (cardio) pulmonary transplantation]. *Rev Mal Respir.* nov 2005;22(5 Pt 1):785- 95.
49. Weiss ES, Allen JG, Merlo CA, Conte JV, Shah AS. Survival after single versus bilateral lung transplantation for high-risk patients with pulmonary fibrosis. *Ann Thorac*

Surg. nov 2009;88(5):1616-1625-1626.

50. Yusen RD. Survival and quality of life of patients undergoing lung transplant. Clin Chest Med. juin 2011;32(2):253- 64.

51. Patterson GA, Cooper JD, Goldman B, Weisel RD, Pearson FG, Waters PF, et al. Technique of successful clinical double-lung transplantation. Ann Thorac Surg. juin 1988;45(6):626- 33.

52. Patterson GA, Todd TR, Cooper JD, Pearson FG, Winton TL, Maurer J. Airway complications after double lung transplantation. Toronto Lung Transplant Group. J Thorac Cardiovasc Surg. janv 1990;99(1):14-20-21.

53. Wielpütz MO, Eichinger M, Biederer J, Wege S, Stahl M, Sommerburg O, et al. Imaging of Cystic Fibrosis Lung Disease and Clinical Interpretation. ROFO Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed. sept 2016;188(9):834- 45.

54. Brody AS, Sucharew H, Campbell JD, Millard SP, Molina PL, Klein JS, et al. Computed tomography correlates with pulmonary exacerbations in children with cystic fibrosis. Am J Respir Crit Care Med. 1 nov 2005;172(9):1128- 32.

55. de Jong PA, Lindblad A, Rubin L, Hop WCJ, de Jongste JC, Brink M, et al. Progression of lung disease on computed tomography and pulmonary function tests in children and adults with cystic fibrosis. Thorax. janv 2006;61(1):80- 5.

56. Reid L. Measurement of the bronchial mucous gland layer: a diagnostic yardstick in chronic bronchitis. Thorax. juin 1960;15:132- 41.

57. Wielpütz MO, Eichinger M, Weinheimer O, Ley S, Mall MA, Wiebel M, et al. Automatic airway analysis on multidetector computed tomography in cystic fibrosis: correlation with pulmonary function testing. J Thorac Imaging. mars 2013;28(2):104- 13.

58. Ahmad K, Barba T, Gamondes D, Ginoux M, Khouatra C, Spagnolo P, et al. Interstitial pneumonia with autoimmune features: Clinical, radiologic, and histological characteristics and outcome in a series of 57 patients. Respir Med. févr 2017;123:56- 62.

59. Müller NL, Staples CA, Miller RR, Abboud RT. « Density mask ». An objective method to quantitate emphysema using computed tomography. Chest. oct 1988;94(4):782- 7.

60. Madani A, De Maertelaer V, Zanen J, Gevenois PA. Pulmonary emphysema: radiation dose and section thickness at multidetector CT quantification--comparison with macroscopic and microscopic morphometry. Radiology. avr 2007;243(1):250- 7.

61. Washko GR, Criner GJ, Mohsenifar Z, Sciurba FC, Sharafkhaneh A, Make BJ, et al. Computed tomographic-based quantification of emphysema and correlation to pulmonary function and mechanics. COPD. juin 2008;5(3):177- 86.

62. Heussel CP, Herth FJF, Kappes J, Hantusch R, Hartlieb S, Weinheimer O, et al. Fully automatic quantitative assessment of emphysema in computed tomography: comparison with pulmonary function testing and normal values. Eur Radiol. oct 2009;19(10):2391- 402.

63. D'Anna SE, Asnaghi R, Caramori G, Appendini L, Rizzo M, Cavallaro C, et al. High-resolution computed tomography quantitation of emphysema is correlated with selected lung function values in stable COPD. Respir Int Rev Thorac Dis. 2012;83(5):383- 90.

64. Mets OM, Murphy K, Zanen P, Gietema HA, Lammers JW, van Ginneken B, et al. The relationship between lung function impairment and quantitative computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease. Eur Radiol. janv 2012;22(1):120- 8.

65. Nambu A, Zach J, Schroeder J, Jin G, Kim SS, Kim Y-I, et al. Quantitative computed tomography measurements to evaluate airway disease in chronic obstructive pulmonary disease: Relationship to physiological measurements, clinical index and visual assessment of airway disease. *Eur J Radiol.* nov 2016;85(11):2144- 51.
66. Schroeder JD, McKenzie AS, Zach JA, Wilson CG, Curran-Everett D, Stinson DS, et al. Relationships between airflow obstruction and quantitative CT measurements of emphysema, air trapping, and airways in subjects with and without chronic obstructive pulmonary disease. *AJR Am J Roentgenol.* sept 2013;201(3):W460-470.
67. Martinez CH, Chen Y-H, Westgate PM, Liu LX, Murray S, Curtis JL, et al. Relationship between quantitative CT metrics and health status and BODE in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* mai 2012;67(5):399- 406.
68. Han MK, Bartholmai B, Liu LX, Murray S, Curtis JL, Sciruba FC, et al. Clinical significance of radiologic characterizations in COPD. *COPD.* déc 2009;6(6):459- 67.
69. Hogg JC, Macklem PT, Thurlbeck WM. Site and nature of airway obstruction in chronic obstructive lung disease. *N Engl J Med.* 20 juin 1968;278(25):1355- 60.
70. Nakano Y, Wong JC, de Jong PA, Buzatu L, Nagao T, Coxson HO, et al. The prediction of small airway dimensions using computed tomography. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 janv 2005;171(2):142- 6.
71. Hasegawa M, Nasuhara Y, Onodera Y, Makita H, Nagai K, Fuke S, et al. Airflow limitation and airway dimensions in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 juin 2006;173(12):1309- 15.
72. Mourissoux G, Vandendries C, Neveu H, Scherrer A, Fischler M. Main bronchial diameters in patients with very severe COPD. *J Anesth.* juin 2010;24(3):359- 65.
73. Marini T, Hobbs SK, Chaturvedi A, Kaproth-Joslin K. Beyond bronchitis: a review of the congenital and acquired abnormalities of the bronchus. *Insights Imaging* [Internet]. 13 déc 2016 [cité 5 janv 2017]; Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s13244-016-0537-y>
74. Grenier P-A, Beigelman-Aubry C, Brillet P-Y, Lenoir S. Sémiologie de l'atteinte bronchique en scanner. *J Radiol.* nov 2009;90(11, Part 2):1801- 18.
75. Lecomte B, Hadden H, Coste K, Gallot D, Laurichesse H, Lemery D, et al. Hyperechoic congenital lung lesions in a non-selected population: from prenatal detection till perinatal management. *Prenat Diagn.* déc 2009;29(13):1222- 30.
76. Vredevoe LA, Brechner T, Moy P. Obstruction of anomalous tracheal bronchus with endotracheal intubation. *Anesthesiology.* nov 1981;55(5):581- 3.
77. Iwamoto T, Takasugi Y, Hiramatsu K, Koga Y, Konishi T, Kozuka K, et al. Three-dimensional CT image analysis of a tracheal bronchus in a patient undergoing cardiac surgery with one-lung ventilation. *J Anesth.* 2009;23(2):260- 5.
78. Brodsky JB, Mark JB. Bilateral upper lobe obstruction from a single double-lumen tube. *Anesthesiology.* juin 1991;74(6):1163- 4.
79. Peragallo RA, Swenson JD. Congenital tracheal bronchus: the inability to isolate the right lung with a univent bronchial blocker tube. *Anesth Analg.* août 2000;91(2):300- 1.

Accord du CERAR



Paris, le 17 Novembre 2016

M. Morgan Le Guen

Nos Réf : IRB 00010254 - 2016 - 140

Monsieur,

Vous nous avez sollicités à propos d'un projet intitulé : **Mesure automatique des diamètres bronchiques à partir de reconstruction scanner 3D chez des patients devant bénéficier d'une transplantation pulmonaire.**

Cette étude, rétrospective et observationnelle, ne soulève pas de problème éthique particulier et ne relève pas du domaine d'application de la réglementation régissant les recherches biomédicales, au sens de l'Article L.1121-1-1 et l'Article R.1121-3.

Nous attirons aussi votre attention sur le fait que, dans ce contexte, du fait de l'enregistrement des différentes données et informations, il vous appartient de vous renseigner sur les obligations liées aux déclarations auprès de la CNIL

Veillez agréer, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

Le Responsable du Comité d'éthique pour
la recherche en Anesthésie-Réanimation
Pr. JE. BAZIN

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'JE. BAZIN', written in a cursive style.

SFAR – 74 rue Raynouard 75016 Paris
www.sfar.org
contact : cerar@sfar.org

Evaluation de l'anatomie trachéo-bronchique chez les transplantés pulmonaires

Objectif : Evaluer l'anatomie trachéo-bronchique par des mesures automatisées sur reconstructions multiplanaires chez les transplantés pulmonaires.

Matériel et Méthodes : Etude rétrospective, monocentrique, hôpital Foch. Tous les patients ayant bénéficié d'une transplantation bi-pulmonaire entre 2012 et 2015 ont été inclus. Nous avons utilisé des mesures automatiques sur reconstructions 3D à partir de scanners thoraciques réalisés avant la transplantation pulmonaire. Objectif principal : recueillir les anomalies anatomiques trachéo-bronchiques et les diamètres internes minimum et maximum de la trachée et des bronches souches. Objectifs secondaires : rechercher les erreurs de choix du tube double-lumière, et une relation entre les données anthropométriques, la pathologie, et les diamètres minimums mesurés.

Résultats : 237 patients ont été inclus, 181 analysés. Nous avons identifié 17 anomalies anatomiques. Nous avons retrouvé une différence significative en fonction de la pathologie pour le diamètre minimum de la trachée ($p < 0,001$), contrairement à la BSG ($p = 0,6$) et à la BSD ($p = 0,15$). Aucun facteur prédictif des diamètres minimums n'a été retrouvé. Une surestimation de la taille du tube double-lumière aurait été observée chez 90% des patients si nous avons utilisé les données anthropométriques pour le choix du tube double-lumière (différence médiane de 2,2mm).

Conclusion : L'évaluation des diamètres trachéo-bronchiques est simple lors de mesures automatisées sur des reconstructions multiplanaires de scanners thoraciques, mais semble sous-estimer les diamètres trachéo-bronchiques.

Mots clefs : transplantation pulmonaire, insuffisance respiratoire chronique, intubation trachéale, ventilation uni-pulmonaire, appareil respiratoire, trachée, bronches, évaluation préopératoire.

Université Paris Descartes
Faculté de Médecine Paris Descartes
15, rue de l'Ecole de Médecine
75270 Paris cedex 06