



MAKERS FOR LIFE



MakAir

MakAir

Un respirateur dédié au traitement du COVID-19
et adapté aux besoins des médecins
réanimateurs

Ce document a pour but de restituer les travaux réalisés lors des TIPE. Il est constitué de plusieurs questions concernant vos travaux et la démarche faite lors de vos recherches. Essayez de détailler au maximum vos réponses. Ces travaux vont permettre aux étudiants et aux chercheurs de suivre des pistes de recherche à partir de vos résultats trouvés sur le projet MakAir. Ce document sera rendu publique par la suite

Introduire simplement votre sujet de TIPE en lien avec MakAir

L'année dernière le thème national de TIPE était : Santé-Prévention. Le MakAir s'inscrivait alors parfaitement dans ce cadre et était une excellente base de recherches pour dénicher une problématique en lien avec notre sujet. Santé de par son utilité dans les hôpitaux, prévention de par ses nombreuses alertes sonores et visuelles lorsqu'un patient passe en état critique / anormal.

Présentez le contexte de vos recherches ?

Mes recherches ont été, dès le début, orientées par notre contact Moneyron Gabriel. En effet, la totalité de la littérature que nous avons pu étudier pour notre TIPE affirme que la résistance des voies respiratoires est prépondérante vis-à-vis de celles des tubes liant le patient au système de respiration mécanique.

Mes recherches ont donc été dans un premier temps factuelles afin de comprendre comment fonctionnaient ces types de respirateurs, quelles étaient leur histoire, leurs évolutions, ... Ces informations récoltées je me suis alors lancé dans mon TIPE par une approche théorique puis pratique.

Quel était la problématique de vos recherches ?

Ma problématique était alors de déterminer si la résistance du tube endotrachéal et du tube reliant le MakAir à ce dernier étaient réellement négligeables devant celle des voies respiratoires de tout type de patient.

Est-ce que vos résultats répondent à votre problématique ?

Mes conclusions répondent, certes, à la problématique mais présentent (si celles si sont correctes) des résultats alarmants vis à vis de l'approximation faite communément aujourd'hui. Celle-ci étant de négliger cette résistance externe aux voies respiratoires. Il faut donc prendre mes résultats avec des pincettes.

Quelle a été votre démarche pour traiter cette problématique ?

Afin de répondre à cette problématique j'ai décidé de mener en premier lieu une étude théorique visant à déterminer la résistance des voies respiratoires de tout type de patient. Ensuite pour confirmer / réfuter ces premiers résultats j'ai décidé de réaliser une approche purement pratique à l'aide du MakAir qui était à notre disposition.

Pourquoi avoir choisi cette démarche ?

J'ai suivi cette démarche pour 2 raisons. Tout d'abord, pour me familiariser avec le sujet il m'était nécessaire de comprendre les phénomènes physiques régissant le principe de "résistance des voies respiratoires". La mise en place d'un modèle théorique était donc bien utile pour le cerner. Ensuite, l'approche pratique est venue naturellement à la suite de mes résultats théoriques plutôt aberrants vis à vis des valeurs connues de résistances. En effet, celles-ci, sous-évaluées à cause de mon modèle simpliste ne reflétaient pas la réalité. Une seconde approche était donc nécessaire pour obtenir des résultats plus cohérents et pertinents.

Quels sont vos résultats ?

Mes résultats se présentent sous la forme de tableaux remplis de valeurs de résistances déterminées théoriquement ou en pratique. Je les détaille et interprète dans le tableau ci-dessous.

Expliquez-en 1 ou 2 phrases si vos résultats répondent à votre problématique

Comme annoncé plus haut, mes résultats théoriques répondent (faussement) à la problématique. Mes résultats expérimentaux eux semblent bien plus réalistes et mettent en évidence des situations extrêmes où la résistance des tubes n'est pas négligeable.

Introduisez les graphiques de vos résultats et leurs explications

Graphique	Explication																
<div><div><p>Trachée R₀ R₁ R₁ R₂ R₂ R₂ R₂ R₂₂ R₂₂</p><p>Arbre bronchique</p></div><div><p>Hypothèses :</p><ul style="list-style-type: none">➤ A chaque génération la résistance de chaque branche est égale ;➤ Toute bronche d'une même génération dispose des mêmes caractéristiques géométriques.<p>Pour les 23 générations :</p><div>$r_g = \sum_{i=0}^{22} \frac{r_i}{2^i}$</div></div></div>	<p>Voici ma modélisation théorique du système respiratoire d'un patient. Afin de connaître la nature de l'écoulement dans celui-ci, j'ai majoré le nombre de Reynolds en supposant que l'air aspiré se déplaçait à une vitesse de 1m/s dans les 23 générations de bronches (1m/s étant la vitesse en entrée de trachée). J'ai alors pu supposer l'écoulement laminaire dans toutes les voies et leur associer des résistances hydrauliques de Poiseuille.</p>																
<div><p>Nombre de Reynolds dans chaque génération de l'arbre bronchique :</p><div>$Re = \frac{\rho v D}{\eta}$<ul style="list-style-type: none">• ρ la masse volumique de l'air supposée constante• v la vitesse de l'air $\approx 1\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en entrée de la trachée• η la viscosité de l'air $\approx 1,9 \cdot 10^{-5}\text{ Pa} \cdot \text{s}$• D le diamètre de la trachée $\approx 18 \cdot 10^{-3}\text{ m}$</div><p><u>Nb Reynolds (majoré)</u></p><p>Résistance écoulement de Poiseuille :</p>$r_h = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$<p>↓</p><p>Résistance arbre respiratoire :</p><div>$r_g = \frac{8\eta}{\pi} \sum_{i=1}^{22} \frac{L_i}{2^i R_i^4}$</div></div>																	
<table><tr><th></th><th>Nouveau-né</th><th>Enfant</th><th>Adulte</th></tr><tr><td>Résistance {tube + sonde} (cmH₂O · s · L⁻¹)</td><td>9,84</td><td>5,13</td><td>0,3 – 0,65</td></tr><tr><td>Résistance arbre (cmH₂O · s · L⁻¹)</td><td>7,9</td><td>2,6</td><td>0,13</td></tr><tr><td>Rapport {tube + sonde}/arbre</td><td>1,2</td><td>2,0</td><td>2,3 - 5</td></tr></table>		Nouveau-né	Enfant	Adulte	Résistance {tube + sonde} (cmH ₂ O · s · L ⁻¹)	9,84	5,13	0,3 – 0,65	Résistance arbre (cmH ₂ O · s · L ⁻¹)	7,9	2,6	0,13	Rapport {tube + sonde}/arbre	1,2	2,0	2,3 - 5	<p>Voici l'application numérique de mes résultats théoriques. J'ai trouvé les différentes caractéristiques géométriques de chaque génération de voie respiratoire chez l'adulte, puis, extrapolé celles pour les enfants et les nourrissons.</p>
	Nouveau-né	Enfant	Adulte														
Résistance {tube + sonde} (cmH ₂ O · s · L ⁻¹)	9,84	5,13	0,3 – 0,65														
Résistance arbre (cmH ₂ O · s · L ⁻¹)	7,9	2,6	0,13														
Rapport {tube + sonde}/arbre	1,2	2,0	2,3 - 5														

Nombre de Reynolds dans chaque génération de l'arbre bronchique :

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta}$$

- ρ la masse volumique de l'air supposée constante
- v la vitesse de l'air $\approx 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en entrée de la trachée
- η la viscosité de l'air $\approx 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- D le diamètre de la trachée $\approx 18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

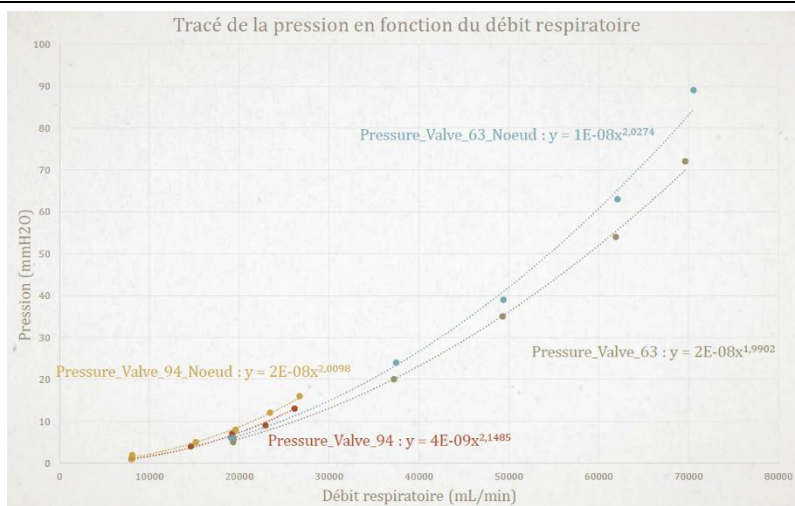
Nb Reynolds (majoré)

Résistance écoulement de Poiseuille :

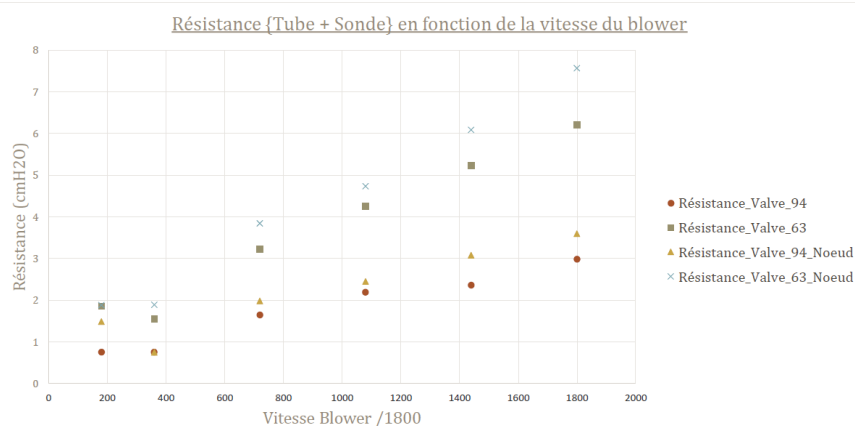
$$r_h = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$$

Résistance arbre respiratoire :

$$r_g = \frac{8\eta}{\pi} \sum_{i=1}^{22} \frac{L_i}{2^i R_i^4}$$



Ma courbe expérimentale de la pression dans les tubes en fonction du débit respiratoire imposé. Celle-ci me permet ensuite de déterminer la résistance hydraulique des tubes.



La conséquence directe de la courbe précédente qui nous donne cette fois les valeurs de résistance dans les différents cas traités (valve plus ou moins ouverte, blower plus ou moins rapide). Les résultats semblent ici cohérents avec l'idée de ce que l'on peut se faire de résistance (plus la valve est fermée plus la résistance est forte, de même si il existe un nœud dans le système).

Adulte	
Résistance {tube + sonde} ($\text{cmH}_2\text{O} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,75 - 8
Résistance arbre ($\text{cmH}_2\text{O} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$)	6 - 18
Rapport {tube + sonde} /arbre	0,04 - 1,23

Les valeurs de résistances hydrauliques du poumon artificiel en fonction du débit respiratoire et de la pression dans le poumon.

(Toutes ces courbes se trouvent dans le fichier PDF en pièce jointe)

Quels sont les problèmes que vous avez rencontrés ?

La plus grosse problématique a été théorique. En effet, afin de calculer la résistance des voies respiratoires j'ai dû opter pour un modèle extrêmement simple sous peine de devoir m'heurter à des équations non linéaires, des résolutions numériques périlleuses, etc.. De plus, l'idée initiale était de répondre à cette problématique pour tout type de patient. Or ici je ne l'ai fait que pour des adultes, enfants et nourrissons. Il aurait par exemple fallu faire un modèle tenant compte de la présence de mucus dans les voies respiratoires qui ajoutent une forte résistance, etc... Balayer toutes les configurations possibles a donc été problématique.

Quels sont les pistes de recherche à approfondir suite à vos résultats ?

Suite à ces résultats je vois 2 pistes de recherche principales :

- Une approche théorique plus convaincante mêlée à des simulations numériques de flux d'air dans les voies respiratoires (potentiellement obstruées) et de calcul de résistance.
- Une approche pratique plus poussée où d'autres cas de figures plus critiques sont envisagés.

Ces 2 pistes explorées il sera alors par exemple possible de caractériser avec plus de précision un patient.