



HAL
open science

Transport et dépôt d'aérosols liquides dans les voies aériennes supérieures

Olivier Boiron, Adam Scheinherr, L. Bailly

► **To cite this version:**

Olivier Boiron, Adam Scheinherr, L. Bailly. Transport et dépôt d'aérosols liquides dans les voies aériennes supérieures. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444660

HAL Id: hal-03444660

<https://hal.science/hal-03444660v1>

Submitted on 23 Nov 2021

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.

Transport et dépôt d'aérosols liquides dans les voies aériennes supérieures

O. BOIRON^a, A. SCHEINHERR^a, L. BAILLY^{b,c}

a. Ecole Centrale Marseille, Aix Marseille Université, CNRS, IRPHE UMR7342, F-13384
Marseille France

b. Univ. Grenoble Alpes, 3SR, F-38000 Grenoble, France

c. CNRS, 3SR, F-38000 Grenoble, France

olivier.boiron@centrale-marseille.fr - lucie.bailly@3sr-grenoble.fr -
adam.scheinherr@centrale-marseille.fr

Résumé :

Une étude numérique du transport et du dépôt d'aérosols dans un modèle idéalisé des voies aériennes supérieures humaines est présentée. La géométrie de la région laryngée pendant la respiration est obtenue à partir d'une étude clinique réalisée sur 20 patients. L'étude montre que pour des particules de taille inférieure à $5\mu\text{m}$ le dépôt est de l'ordre de 30 % de la masse injectée et diminue singulièrement lorsque le patient inhale un mélange à base d'hélium.

Abstract :

This numerical study focuses on the transport and deposition of aerosols in the human upper airways. A great attention is specifically devoted to the glottal region and its geometry, which is designed from the results of a clinical study conducted on 20 patients. The main results concern the limit size of the injected particles which beyond 5-10 μm settle massively, up to 30% of the total inhaled mass. The effect of the nature of the carrier gas is also studied.

Mots clefs : thérapies inhalées ; dépôt ; diphasique ; biomécanique respiratoire ; glotte

1 Introduction

L'intérêt pour les thérapies inhalées s'est accru exponentiellement ces dernières décennies tant elles constituent une méthode efficace pour administrer des médicaments localement dans la région pulmonaire. En comparaison avec d'autres techniques plus classiques d'administration, elles maximisent l'apport local [1] et minimisent notamment les effets systémiques. Le transport et le dépôt des aérosols dans les voies aériennes supérieures dépendent des propriétés physiques des particules, des caractéristiques de l'écoulement du gaz porteur mais également de la géométrie des voies aériennes extra et intra thoraciques. Cette étude est centrée sur le rôle de la région laryngée dans le dépôt des aérosols. Cette région constitue en effet la principale singularité des voies aériennes extra thoraciques, ou supérieures (VAS) et ses caractéristiques anatomiques sont assez mal connues pendant la

respiration. Nous présentons à l'aide d'une étude *in silico* une analyse du dépôt d'aérosols dans les VAS pour différentes modalités de respiration et de gaz porteur.

2 Matériel & méthodes

Un modèle géométrique idéalisé des VAS a été élaboré à partir d'images médicales obtenues par HR-CT [2]. Les variations géométriques de la région laryngée au cours des différentes phases de la respiration, difficilement accessibles par ce type de modalité d'imagerie, ont été obtenues à partir de la fusion des données HR-CT avec celles obtenues par laryngoscopie et enregistrement vidéo. Ces examens ont été réalisés lors d'une étude clinique antérieure, menée sur 20 sujets sains [3]. La variation de l'espace glottique durant la respiration a été mesurée de manière synchrone avec le débit d'air. L'aire de l'espace glottique moyen mesuré durant la phase d'inspiration est de 196,5 mm². La géométrie volumique idéalisée des VAS est présentée en détails dans [4]. Les simulations numériques de l'écoulement diphasique ont été réalisées à l'aide du code commercial FLUENT avec un modèle Euler/Lagrange. Dans ce papier, deux débits de gaz ont été simulés, correspondent à des fréquences de respiration « normale » ou *eupnea* (15 insp/mn – 31l/mn) et « rapide » ou *tachypnea* (30insp/mn – 50l/mn), telles qu'observées durant l'étude clinique. Deux gaz porteurs sont étudiés : l'air et un mélange Hélium / Oxygène (78/22) similaire à celui commercialisé par la Sté Air Liquide Santé International. Les simulations ont été réalisées en régime stationnaire, les nombres de Strouhal pour les deux conditions d'inhalation étant respectivement de 4e-3 et 6e-3 en condition d'*eupnea* et de *tachypnea*. Les effets d'hygroscopie ainsi que les phénomènes de coalescence sont négligés.

3 Résultats & discussion

Les particules injectées sont supposées parfaitement sphériques et constituées d'eau. Leur diamètre varie entre 1 et 20µm. Elles sont injectées avec une vitesse identique à celle du gaz porteur. L'écoulement du gaz porteur étant simulé dans un formalisme RANS k- ω nous avons testé la sensibilité du modèle de transport des particules à la prise en compte ou non des fluctuations turbulentes par un modèle Eddy Interaction Model (EIM) isotrope. En *eupnea* (Figure 1), la fraction de dépôt des particules est relativement stable pour des diamètres inférieurs à 5µm mais augmente très rapidement pour des diamètres supérieurs. A 20µm l'ensemble des particules restent piégées dans le modèle. Comparativement à l'air, l'utilisation de

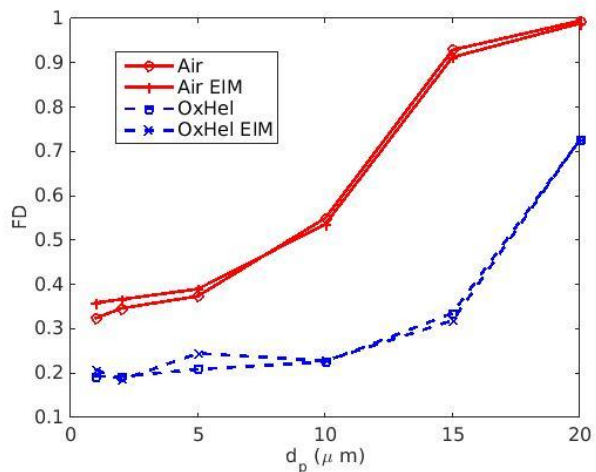


Figure 1 - Fraction déposée en *eupnea* pour deux types de gaz porteurs et avec ou sans prise en compte des fluctuations de vitesse

l'OxHel® comme gaz porteur entraîne un

dépôt inférieur de près de 30 % pour ces mêmes particules. En effet le mode d'entraînement des particules étant dominé par la viscosité, la valeur élevée de celle de ce gaz induit un nombre de Stokes très inférieur à diamètre de particule et vitesse de gaz identiques. Les résultats sont peu dépendants des fluctuations turbulentes calculées par le modèle EIM. En *tachypnea* (Figure 2) les valeurs des fractions de dépôt augmentent sensiblement avec l'air puisque dès $d_p > 5\mu\text{m}$, 50 % des particules injectées dans le modèle y demeurent. L'utilisation de l'OxHel® permet ici également des gains substantiels, les

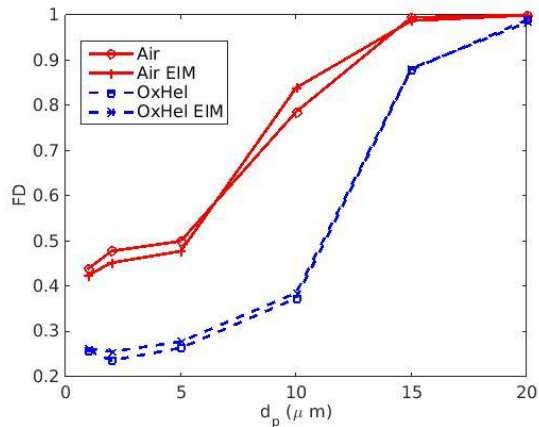


Figure 2 - Fraction déposée en tachypnea pour deux types de gaz porteurs

L'utilisation de l'Oxhel® est également bénéfique en termes de travail respiratoire. Le tableau ci-dessous précise le travail nécessaire pour assurer la ventilation durant l'inhalation dans les VAS pour les deux conditions et les deux gaz porteurs étudiés. L'essentiel (80%) de la perte de pression responsable de ce travail est situé au niveau de la glotte. Si l'effet recherché lors de l'utilisation de l'OxHel® est l'amélioration de la perfusion au niveau alvéolaire, la nette diminution du travail de ventilation (31% pour l'eupnea et 36% pour la tachypnea) participe au confort respiratoire des patients traités avec ce gaz.

	<i>Eupnea Air</i>	<i>Eupnea OxHel</i>	<i>Tachypnea Air</i>	<i>Tachypnea OxHel</i>
W (mJ)	16	10,8	25,4	16,3

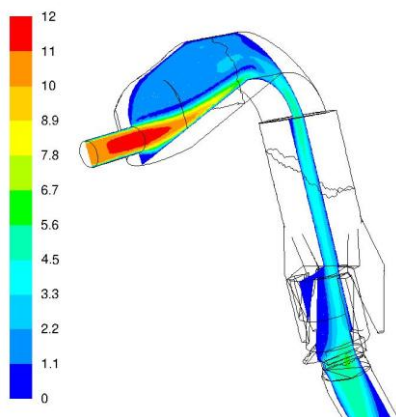


Figure 3 Evolution de la vitesse (m/s) dans le plan sagittal du modèle – OxHel - Tachypnea

fractions de dépôts demeurant sous la barre des 40 % pour les particules de moins de 10μm. Le nombre de Stokes limite pour lequel l'efficacité du transport diminue drastiquement est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2}$ quelles que soient les conditions d'écoulement. La Figure 3 présente une coupe de l'écoulement réalisée dans le plan sagittal du modèle. L'embout cylindrique du nébuliseur placé en bouche induit une suritesse importante dans la cavité buccale et dans l'oropharynx où une part importante du dépôt est observée.

L'écoulement en aval de la glotte impacte la paroi antérieure de la trachée alors qu'une importante recirculation prend place sur la paroi postérieure.

4 Conclusion

La nébulisation d'aérosols liquide est un moyen efficace de lutter contre les pathologies du système respiratoire. Cette étude montre que la taille des aérosols est l'un des paramètres prépondérants dans l'efficacité du transport des particules, le mécanisme principal de dépôt étant l'impaction inertielle. La limite en taille est de l'ordre de 5 à 10μm pour $St < 0,02$. L'utilisation d'un mélange à base d'hélium améliore nettement l'efficacité du transport des aérosols mais également la dette énergétique pour assurer la ventilation.

5 Remerciements

Cette étude est supportée par le département recherche de la Société Air Liquide Santé International et les auteurs remercient vivement M. Pichelin & G. Caillibotte pour les nombreux échanges.

Références

- [1] W. Berger, *Aerosol devices and asthma therapy*, *Current Drug Delivery*, 2009, 6, 38-49

- [2] J. Conway *et al.*, *Controlled, parametric, individualized, 2D and 3D imaging measurements of aerosol deposition in the respiratory tract of healthy human subjects for model validation. Journal of Aerosol Science* 52 (2012) 1–17.
- [3] A. Scheinherr *et al.*, *Glottal motion and its impact on inhaled aerosol deposition in upper airways. Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 26(2):A28.
- [4] A. Scheinherr. *Glottal motion and its impact on airflow and aerosol deposition in upper airways during human breathing. PhD Thesis, Ecole Centrale Marseille, 2015.*