

# Un modèle arbre-parenchyme nonlinéaire pour la modélisation de respiration

Céline Grandmont, EP REO, INRIA Paris

Dena Kazerani, EP REO, INRIA Paris

Marina Vidrascu, EP REO, INRIA Paris

Irène Vignon-Clémentel, EP REO, INRIA Paris

Le but de ce travail est la modélisation de la ventilation et en particulier la reproduction numérique de tests de spirométrie, utilisés en routine clinique, où des manoeuvres de respiration forcée sont effectuées par le patient. Lors de ces manoeuvres, le parenchyme (tissu) pulmonaire subit de grandes déformations. On suppose donc ici que le parenchyme est un matériau élastique de Saint-Venant Kirschhoff, irrigué par l'arbre bronchique, supposé rigide et vu comme un réseau de résistances de type Poiseuille ou de type Pedley [2]. La prise en compte de l'irrigation du parenchyme par l'arbre fait alors apparaître, dans les équations du matériau, un terme dissipatif non-linéaire. Dans un travail récent [1], les auteurs se placent dans le cas de petits déplacements et modélisent la ventilation au repos par un système couplant linéairement l'équation de l'élasticité linéarisée autour de l'état d'équilibre 0 à un arbre résistif, dont les résistances dépendent éventuellement du débit dans chaque branche. L'idée ici est de généraliser le travail de [1] aux cas où l'hypothèse des petits déplacements n'est pas vérifiée et donc à un cadre non-linéaire (aussi bien pour la loi de comportement que pour la prise en compte de l'arbre).

Sur le plan numérique, un schéma de type point milieu ainsi qu'un traitement explicite des non-linéarités géométriques du terme dissipatif, est considéré pour la discrétisation temporelle du système. La non-linéarité de l'équation discrétisée en temps est ensuite traitée grâce à un algorithme de Newton [4, 3] dont chaque étape est résolue grâce à une méthode de gradient conjugué pré-conditionnée. Il est à noter que l'utilisation d'une méthode itérative permet de ne pas assembler la matrice de couplage air-parenchyme qui couple tous les degrés de liberté du domaine élastique. Comme dans [1], pour décrire le phénomène de la ventilation, une condition aux limites de Dirichlet périodique en temps est prescrite sur l'enveloppe du parenchyme. D'un point de vue théorique, il serait donc intéressant d'étudier l'existence de solutions périodiques et leur stabilité en temps long. Du point de vue de la modélisation, la prise en compte des possibles déformations des bronches est une perspective de ce travail.

## Références

- [1] POZIN, N. AND MONTESANTOS, S. AND KATZ, I. AND PICHELIN, M. AND VIGNON-CLÉMENTEL, I.E. AND GRANDMONT, C., *A tree-parenchyma coupled model for lung ventilation simulation*, International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, 2017.
- [2] PEDLEY, T.J. AND SCHROTER, R.C. AND SUDLOW, M.F., *Energy losses and pressure drop in models of human airways*, Respiration Physiology, 1970.
- [3] LE TALLEC, P. AND MOURU, J., *Fluid structure interaction with large structural displacements. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Advances in Computational Methods for Fluid-Structure Interaction, 2001.
- [4] DE ROECK Y.-H., AND LE TALLEC, P. AND VIDRASCU, M. *A domain-decomposed solver for nonlinear elasticity*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 1992