

# Physique de la dynamique glottique: aspects énergétiques et auto-oscillations

Thomas Hélie (UMR9912 - STMS - IRCAM/CNRS/UPMC), thomas.helie@ircam.fr  
Fabrice Silva (UPR7051 - LMA - CNRS/AMU/ECM), silva@lma.cnrs-mrs.fr

## Résumé

La phonation met en jeu des phénomènes multi-physiques complexes comme la vibration des plis vocaux, l'écoulement pulsé d'air à travers la glotte et la propagation d'ondes acoustiques dans les voies aériennes du locuteur jusqu'à son auditoire. C'est un processus intrinsèquement non linéaire. L'objectif de ce cours est d'examiner comment un tel système non linéaire peut donner naissance à des auto-oscillations, en portant une attention particulière aux échanges d'énergie qui y participent.

Dans une première partie, nous cherchons à comprendre quels sont les ingrédients nécessaires pour que les plis vocaux puissent entrer en oscillation. Ceci nous permet de construire des modèles minimaux de phonation à partir de l'oscillateur mécanique élémentaire, et de comprendre les modélisations qui ont émergé dans la communauté scientifique depuis un demi siècle. Nous discutons certaines limitations fondamentales de ces modèles et pourquoi elles les rendent intrinsèquement non physiques.

Dans une seconde partie, nous proposons une modélisation minimale d'appareil vocal qui rétablit les équilibres énergétiques entre tous ses composants (plis vocaux, jet d'air, conduit acoustique) et garantit la passivité. Pour cela, nous commençons par présenter le concept des systèmes hamiltoniens à ports. Ce concept repose sur une approche où chaque élément est d'abord modélisé isolément, avant d'être mis en interaction avec son environnement dans le respect des échanges énergétiques aux interfaces. Des composants minimaux de l'appareil vocal sont alors proposés, en accordant une attention particulière à l'écoulement d'air entre les plis vocaux mobiles, puisque c'est cet élément qui est responsable de la non-linéarité permettant la phonation.

Dans la troisième partie, des exemples de simulations temporelles du modèle sont exploités pour examiner des configurations représentatives d'une voix saine ou pathologique et illustrer les échanges énergétiques associés. Le modèle est ensuite exploité pour déterminer des seuils de phonation et des régimes d'oscillation auxquels il peut donner naissance.

En conclusion, un bilan sur la modélisation et l'analyse de phonation dans un cadre énergétique est exposé. Une ouverture sur l'étude des collisions inter-plis dans ce cadre est donnée. Ceci apporte des perspectives pour travailler sur le cas de voix pathologiques et en particulier de la dysphonie, en examinant l'effet possible de resynchronisation dû au transfert d'énergie pendant les collisions.

## Éléments de bibliographie

B. Erath, M. Zañartu, K. Stewart, M. Plesniak, D. Sommer and S. Peterson, “A review of lumped-element models of voiced speech”, *Speech Communication*, 55:667–690, 2013.

I. Titze, “The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds”, *J. Acous. Soc. Am.* 83(4):1536–1552, 1988.

D. Jeltsema and A. van der Schaft, “Port-Hamiltonian Systems Theory : An Introductory Overview.” In : Now Publishers Inc. (2014).

N. Lopes, Approche passive pour la modélisation, la simulation et l’étude d’un banc de test robotisé pour les instruments de type cuivre. Thèse de doctorat de l’UPMC, 2016.

N. Lopes and Th. Hélie. Energy balanced model of a jet interacting with a brass player’s lip. *Acta Acustica United With Acustica*, 102(1):141–154, 2016.