

## Conférence semi-plénière

# Les vibrations aimables : Mécanique des instruments de musique

**José Antunes**

**Chercheur principal au Campus de recherche nucléaire de l'IST  
Centre de Sciences et Technologies Nucléaires, Portugal,  
Responsable du Laboratoire de Dynamique Appliquée**

### Résumé :

Depuis la nuit des temps la musique est une manifestation essentielle de l'expression humaine. À cet effet des instruments ont été développés et perfectionnés selon différents critères, parfois contradictoires - à titre d'exemple, l'ergonomie, la justesse des sons, la virtuosité instrumentale, la variété des atmosphères sonores et l'efficacité acoustique. L'histoire du développement des instruments de musique, basée sur les recherches empiriques des luthiers, est aujourd'hui ouverte aux regards des ingénieurs et scientifiques, qui espèrent y apporter la compréhension de ce qui fonctionne, voire des améliorations rationnelles de ce qui est perfectible.

Du point de vue de l'ingénieur, les instruments de musique sont des convertisseurs d'énergie. À la base, des machines qui transforment l'énergie quasi-statique ou très basse fréquence issue des gestes humains (percussion, frottement d'un archet, souffle) en énergie vibratoire (et in fine acoustique) perçue dans la plage de fréquence audible. En cela, même si leur usage en tant que moyen pour susciter des émotions est particulier et infiniment plus subtil que la plupart des machines, les instruments de musique sont des objets d'ingénierie. La conception traditionnelle des instruments a le plus souvent été réalisée par des artisans expérimentés, au savoir profond mais de nature non scientifique - les instruments ont rarement été développés à l'aide d'équations. Pourtant, la compréhension de leur fonctionnement est une activité intellectuellement réjouissante et qui, à l'occasion, peut entraîner des interactions productives entre chercheurs et constructeurs.

Cet exposé vise apporter les concepts essentiels sur le fonctionnement des instruments de musique à un public scientifique non impliqué dans le domaine. Un survol forcément biaisé par l'expérience et les affinités personnelles de celui qui présente, centré sur les aspects communs à la quasi-totalité des instruments, tels que la nature non linéaire des mécanismes d'excitation, leur interaction avec des résonateurs, ainsi que les non-linéarités de ces derniers. Ayant posé la distinction entre instruments à excitation transitoire (percussions, solides pincés) et les instruments auto-oscillants (solides frottés, instruments à anches, flûtes), on présentera quelques modèles de fonctionnement simples pour des instruments représentatifs. On reconnaîtra la proximité entre certains de ces modèles et des problèmes bien connus en d'autres domaines, par exemple le crissement des freins, les sifflements dans les tuyauteries, la roncopathie ("sommeil ronflant").

L'exploitation dans les domaines temporel et fréquentiel de ces modèles permet d'obtenir les caractéristiques essentielles des régimes de fonctionnement des instruments, notamment concernant les effets dynamiques des non-linéarités. En particulier, on peut prédire les transitoires d'attaque, la stabilité des formulations linéarisées, les branches de solutions et leurs bifurcations, les régimes périodiques, quasi-périodiques et chaotiques, les glissements de fréquences et les transferts intermodaux d'énergie. Les aspects évoqués dans la présentation seront illustrés avec quelques instruments réels, de même que des enregistrements et vidéos issus de performances musicales, des essais et calculs théoriques.

### **Mots clefs :**

Instruments de musique, acoustique musicale, systèmes dynamiques, oscillateurs non-linéaires.

### **Biographie :**

José Antunes est né à Lisbonne, Portugal, où il a obtenu un diplôme d'ingénieur à l'Institut Supérieur Technique (IST) en 1977. Plus tard, en France, il poursuit sa formation préparant un DEA (1983) et un Doctorat en mécanique (1986) à l'Université Paris 6 (UPMC). Il est chercheur principal au Centre de recherche nucléaire de l'IST, au Portugal, où il anime le Laboratoire de Dynamique Appliquée. Par ailleurs, il est depuis plus de 25 ans chercheur visitant au Centre d'Études de Saclay du CEA, où il collabore aux activités du Laboratoire d'Études de Dynamique. Il est co-auteur de deux livres, 50 articles publiés dans des journaux internationaux et plus de 100 articles présentés à des conférences internationales. Ses travaux, centrés dans les vibrations induites par les écoulements, la dynamique non linéaire, l'identification des systèmes et l'acoustique des instruments de musique, ont obtenu plusieurs prix internationaux, dont deux de l'ASME. En 2012 il a été honoré par la Société Française d'Acoustique avec la Médaille Étrangère de la SFA.