

# ***Soutenance de thèse de Damien BOUVIER***

**Lundi 10 décembre 2018 à 14H30 (en streaming sur <http://video.ircam.fr> )**  
**Ircam, salle Igor Stravinsky**

-----

**Damien BOUVIER** soutiendra sa thèse de doctorat réalisée au sein de l'équipe Systèmes et signaux sonores : Audio/Acoustique, instruMents (S3AM) du laboratoire STMS - (Ircam/CNRS/Sorbonne Université), intitulée :

## ***Identification de systèmes non linéaires représentés en séries de Volterra : applications aux systèmes sonores***

Le jury sera composé de :

Françoise Lamnabhi-Lagarrigue - CNRS  
Johan Schoukens - Vrije Universiteit Brussel  
Béatrice Laroche - INRA  
Roland Badeau - Télécom ParisTech  
Marc Rébillat - ENSAM  
Benoît Fabre - Sorbonne Université  
Thomas Hélie - CNRS  
David Roze - CNRS

### Résumé :

Beaucoup d'outils sont disponibles pour traiter les systèmes linéaires (modélisation, simulation, identification, contrôle, etc.). Mais dans le cas non linéaire, de nombreux problèmes restent ouverts. Les séries de Volterra donnent une représentation entrée-sortie approximée à une erreur près de tout système non linéaire continu, invariant dans le temps et dit « à mémoire effaçable » (ce qui exclut les effets d'hystérésis, de changements de régimes, d'auto-oscillations ou de chaos). Techniquement, elles correspondent à un développement en série organisé par ordre d'homogénéité par rapport à l'entrée: chaque terme homogène est caractérisé par un noyau convolutif -- souvent appelé réponse impulsionnelle généralisée -- dont l'ensemble fournit une « signature complète » du système représenté. En ce sens, ces noyaux permettent la modélisation et la simulation de systèmes, mais aussi leur identification à partir de mesures, ce qui est un enjeu important de l'étude des systèmes non linéaires. Cette thèse porte sur l'identification de systèmes non linéaires représentables en séries de Volterra, et son application à des systèmes sonores. Les travaux présentés reposent sur le développement d'une étape préalable de séparation des termes de la série pour améliorer l'identification. Par rapport aux méthodes déjà existantes de séparation en ordres homogènes, basées sur des relations d'amplitudes entre signaux tests, l'approche adoptée dans cette thèse consiste à exploiter les relations de phase entre signaux afin d'obtenir une méthode robuste.

Cela est tout d'abord obtenu de manière abstraite pour le cas de signaux d'excitations complexes. De cette idée, plusieurs méthodes adaptées au cas des signaux réels sont développées. Ceci amène à définir de nouvelles catégories de signaux pour décrire la sortie d'une série de Volterra, regroupant les contributions selon leurs propriétés de phase. Les méthodes de séparation proposées sont testées et appliquées à une pédale d'effet de guitare. Ensuite, des méthodes d'identification spécifiques aux nouveaux types de signaux sont présentées. Enfin, une méthode d'estimation des paramètres d'une représentation d'état à non-linéarités polynomiales est développée. Celle-ci est appliquée à un haut-parleur électrodynamique, dont les caractéristiques non linéaires sont étudiées.

-----

## **"Nonlinear system identification using Volterra series representation: application to audio systems "**

Abstract:

Many tools are available to study linear systems (either for modelling, simulation, identification or control). But in the nonlinear case, many problems remain open. Volterra series give an input-output representation, approximated to within a given error, of any time-invariant continuous nonlinear system with fading memory (this excludes hysteresis effects, regime changes, self-oscillations or chaos). Technically, they correspond to a series expansion sorted by homogeneity order with respect to the input: each homogeneous term is characterized by a convolutive kernel - often called generalized impulse response -- whose set provides a "complete signature" of the modelled system. These kernels allow to model and simulate systems, but also to identify them from measurements, which is an important issue in the study of nonlinear systems.

This thesis addresses the identification of nonlinear systems that can be represented with Volterra series, and its application to audio systems. The works presented are based on the development of a preliminary step that consists in separating the series' terms to improve identification. Compared to existing homogeneous order separation methods, which are based on amplitude relationships between test signals, the approach chosen in this thesis is to exploit phase relationships between signals to obtain a robust method.

This is first obtained in the theoretical case of complex excitation signals. From this idea, several methods suited to the use of real signals are developed. This leads to define new signals categories that describes the output of a Volterra series, sorting nonlinear contributions according to their phase properties. The proposed separation methods are applied and tested on a guitar pedal effect. Then, specific identification methods for the new types of signals are presented. Finally, a method for estimating the parameters of a polynomial nonlinear state-space representation is developed. This is applied to an electrodynamic loudspeaker whose nonlinear characteristics are studied.

-----

à l'issue de sa soutenance de thèse et de la délibération du jury, Damien Bouvier vous convie à le rejoindre au niveau -2 pour un apéritif.

IRCAM

1, place Igor-Stravinsky  
75004 Paris

(<http://www.ircam.fr/venir-a-ircam/>)