



**HAL**  
open science

## Contrôle en temps fini de systèmes vibratoires hybrides

Marc Wijnand, Brigitte d'Andréa-Novel, Thomas Hélie, Lionel Rosier, David  
Roze

► **To cite this version:**

Marc Wijnand, Brigitte d'Andréa-Novel, Thomas Hélie, Lionel Rosier, David Roze. Contrôle en temps fini de systèmes vibratoires hybrides. Visite HCERES – UMR STMS, Equipe S3AM, Nov 2023, Paris, France. hal-04291878

**HAL Id: hal-04291878**

**<https://hal.science/hal-04291878v1>**

Submitted on 21 Nov 2023

**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.

# Contrôle en temps fini de systèmes vibratoires hybrides

Marc Wijnand<sup>1</sup>, Brigitte d'Andréa-Novel<sup>1</sup>, Thomas Hélie<sup>2</sup>, Lionel Rosier<sup>3</sup>, David Roze<sup>2</sup>

Équipe S3AM, STMS Lab UMR9912 (Ircam – <sup>2</sup>CNRS – <sup>1</sup>Sorbonne Université – Ministère de la Culture), Paris  
<sup>3</sup>Laboratoire de Mathématiques Pures et Appliquées J. Liouville, Université du Littoral Côte d'Opale, Calais

## Contrôle en temps fini

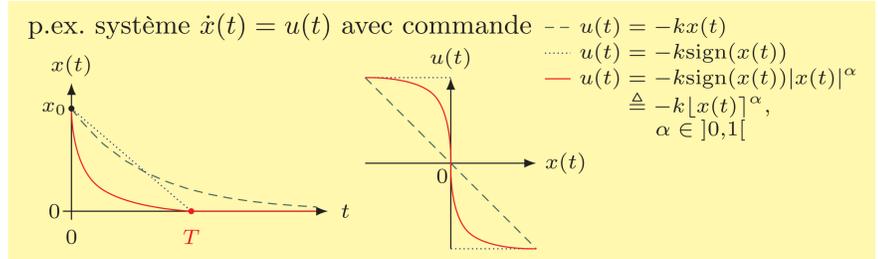
### Contexte

projet **anr**<sup>\*</sup> Finite4SoS : Commande et estimation en temps fini pour les Systèmes de Systèmes [1]

### Stabilité en temps fini

cible atteinte en un temps fini  $T$   
 (cas de stabilité non asymptotique)

- ✓ applications avec contraintes de temps
- ✓ propriétés de robustesse [2]
- ✗ cas EDO : loi non Lipschitz continue à la cible [3]

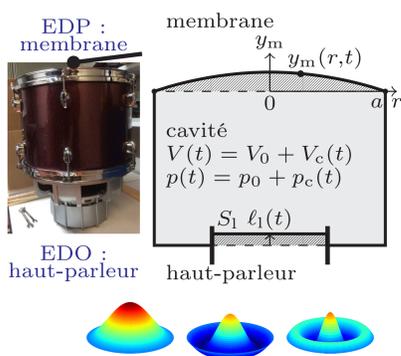


### Contribution

application à deux cas de systèmes vibratoires hybrides (EDP couplée à EDO) [\*1]

## Système hybride 1 : le tom [\*2–\*5]

### Système Modèle



$$\begin{cases} T\Delta y_m(r,t) + p_c(t) = \sigma_m \frac{\partial^2}{\partial t^2} y_m(r,t) + \mu \frac{\partial}{\partial t} y_m(r,t) \\ p_c(t) = -\gamma \frac{p_0}{V_0} \left[ \int_S y_m(r,t) dS(r) - S_1 \ell_1(t) \right] \\ m_1(t) \ddot{\ell}_1(t) + c_1 \dot{\ell}_1(t) + k_1 \ell_1(t) = S_1 p_c(t) + Bl i_1(t) \end{cases}$$

avec c.f.  $y_m(a,t) = 0$ , et paramètres de la membrane (surface  $S$ , tension  $T$ , masse surfacique  $\sigma_m$ , coefficient de frottement  $\mu$ ), de la cavité (l'indice adiabatique  $\gamma$ ), et du haut-parleur (masse  $m_1$ , amortissement  $c_1$ , raideur  $k_1$ , facteur de force  $Bl$ , résistance  $R$ , inductance  $L$ )  
 projection sur modes axisymétriques et troncature → modèle EDO

### But

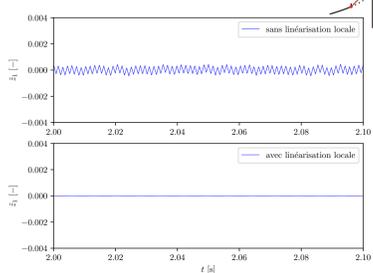
modifier les fréquences/amortissements modaux de la membrane du tom par un **contrôle** actif du haut-parleur, mesurant la pression dans la cavité

### Résultat

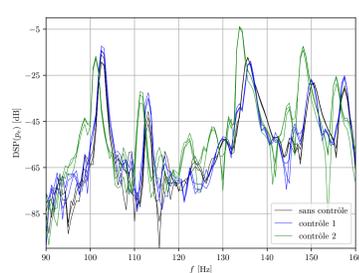
- observateur-régulateur en temps fini [4] pour le haut-parleur, réalisant un placement de pôles sur la membrane du tom par l'intermédiaire de la pression dans la cavité
- dispositif expérimental :

– phénomène de *chattering* due à la raideur de la loi de commande  
 → linéarisation locale :  $-\varepsilon \frac{dx}{dt} = \varepsilon x$

– changements de fréquences obtenus, mais écart entre mesures et modèle observé



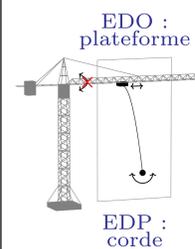
Évolution de l'une des variables internes du microcontrôleur



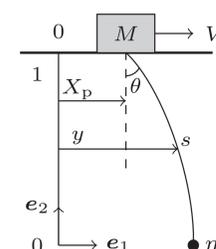
Spéctre du son mesuré au dessus du tom : modification des fréquences de résonance

## Système hybride 2 : le câble pesant [\*6]

### Système



### Modèle



$$\begin{cases} \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(s,t) - \frac{\partial}{\partial s} \left[ d(s) \frac{\partial}{\partial s} y(s,t) \right] = 0 \\ \dot{X}_p(t) = U(t) \end{cases}$$

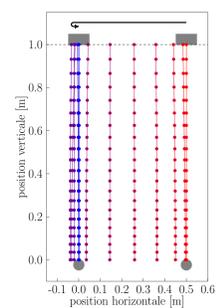
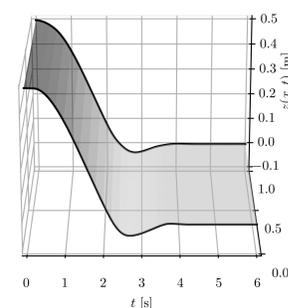
avec c.f.  $\frac{\partial}{\partial s} y(0,t) = 0$ ,  $y(1,t) = X_p(t)$   
 et tension affine (généralisation de [5] avec  $d$  cste.)  
 $d(s) = gs + \frac{gm}{\rho}$   
 avec constante de gravité  $g$ , masse à transporter  $m$ , masse linéique  $\rho$

### But

stabilisation du câble et de la plateforme en 0 en un temps fini par un **contrôle** de la plateforme en accélération

### Résultat

- établissement d'une loi de commande à la frontière de l'EDO, utilisant des résultats existants pour la stabilisation en temps fini d'un système  $2 \times 2$  d'EDPs hyperboliques du 1<sup>er</sup> ordre [6], et d'une méthode numérique pour calculer les noyaux qui y figurent [7]
- utilisation d'une méthode de simulation préservant la stabilité en temps fini [8]



Simulation de l'évolution de la position du câble  $y(s,t) = z(x(s),t)$  qui est stabilisée à 0 en temps fini à partir de la condition initiale  $y(s,0) = 0.5$

## Perspectives

- Vers la **commande** passive en temps fini de systèmes EDO différentiellement plats de dimension  $n$ 
  - loi passive en temps fini : système de dimension 2 (non) linéaire [\*7] avec application à l'absorbeur électroacoustique [\*8]
  - suivi de trajectoire (non passif) en temps fini : corde non linéaire [\*9]
- **Simulation**  
 vers une méthode déraidissante par gradient discret [\*1, §7.2]

## Références

- [1] Wilfrid Perruquetti, 2015-2019, École Centrale Lille, <https://anr.fr/Projet-ANR-15-CE23-0007>.
- [2] S.P. Bhat, D.S. Bernstein. Finite-time stability of continuous autonomous systems. SIAM Journal on Control and Optimization 38.3, 2000, pp. 751-766.
- [3] V.T. Haimo. Finite time controllers. SIAM Journal on Control and Optimization 24.4, 1986, pp. 760-770.
- [4] W. Perruquetti, T. Floquet et E. Moulay. Finite-time observers: application to secure communication. IEEE Transactions on Automatic Control 53.1, 2008, pp. 356-360.
- [5] B. d'Andréa-Novel, I. Moyano, L. Rosier. Finite-time stabilization of an overhead crane with a flexible cable. Math. Control Signals Syst. 31, 2019, 6.
- [6] J.-M. Coron, R. Vazquez, M. Krstic and G. Bastin. Local exponential  $H^2$  stabilization of a  $2 \times 2$  quasi-linear hyperbolic system using backstepping. SIAM J. Control Optim. 51, 2013, pp. 2005-2035.
- [7] H. Anfinsen, O.M. Aamo. Adaptive Control of Hyperbolic PDEs. Springer, 2019.
- [8] A. Polyakov, D. Efimov, B. Brogliato. Consistent discretization of finite-time and fixed-time stable systems. SIAM J. Control Optim. 57, 2019, pp. 78-103.

## Publications

- [\*1] M. Wijnand. Contrôle en temps fini de systèmes vibratoires hybrides couplant équations aux dérivées partielles et équations aux dérivées ordinaires : les cas du tom et du câble pesant. Thèse de Sorbonne Université, Paris, 2021.
- [\*2] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, T. Hélie, D. Roze. Experimental implementation of a finite-time controller for the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum. Forum Acusticum 2023, Torino (Italy).
- [\*3] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, T. Hélie, D. Roze. Experimental implementation of a finite-time controller for the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum. To be submitted.
- [\*4] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, T. Hélie, D. Roze. Active control of the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum using a modal-based observer-regulator. Proceedings of the EAA e-Forum Acusticum, 2020, Lyon, pp. 639-646.
- [\*5] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, B. Fabre, T. Hélie, L. Rosier, D. Roze. Active control of the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum. IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC), 2019, Nice, pp. 6887-6892.

- [\*6] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, L. Rosier. Finite-time stabilization of an overhead crane with a flexible cable submitted to an affine tension. ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations, Vol. 27, 2021.
- [\*7] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, T. Hélie, D. Roze. Contrôle des vibrations d'un oscillateur passif : stabilisation en temps fini et par remodelage d'énergie. Congrès Français d'Acoustique (CFA), 2018, Le Havre, pp. 1369-1375.
- [\*8] T. Lebrun, M. Wijnand, T. Hélie, D. Roze, B. d'Andréa-Novel. Electroacoustic absorbers based on passive finite-time control of loudspeakers: a numerical investigation. Proceedings of the First International Nonlinear Dynamics Conference (NODYCON, 2019, Rome), Volume II - Nonlinear Dynamics and Control, 2020, pp. 23-31, Springer-Cham.
- [\*9] M. Wijnand, T. Hélie, D. Roze. Finite-time tracking control of a nonlinear string to reference dynamics. 10th European Nonlinear Dynamics Conference (ENOC 2020+2), 2022, Lyon.