

# Linéarisation de haut-parleur par contrôleurs d'états linéaire-quadratique

Arnaud LENGAGNE<sup>1</sup>, Michel LEMAIRE<sup>1</sup>, Hicham CHAOUI<sup>2</sup>, et Daniel MASSICOTTE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Signaux et Systèmes Intégrés, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, Canada

<sup>2</sup> Department of Electronics, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada

## Contexte

- La majorité des haut-parleurs sont de type **électrodynamique**
- Cette technologie est **non-linéaire** par nature [1]
- La distorsion non-linéaire **détériore** la qualité de reproduction

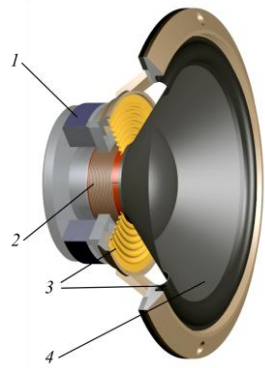


Figure 1 – Vue en coupe d'un haut-parleur électrodynamique

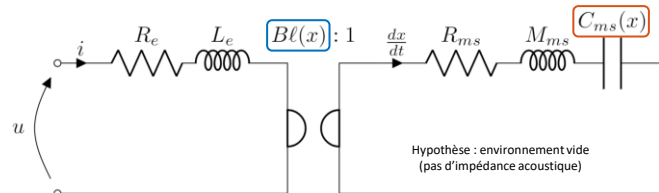


Figure 2a – Schéma électromécanique d'un haut-parleur électrodynamique

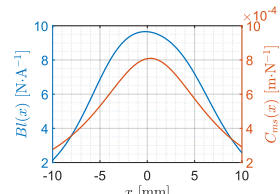


Figure 2b – Paramètres non-linéaire :  
- **facteur de force (bleu)**  
- **compliance de la suspension (orange)**

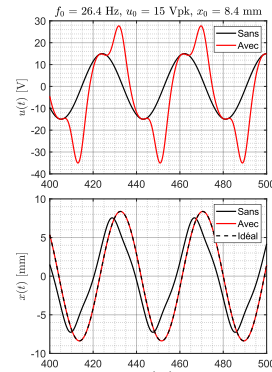


Figure 3 – Exemple de signaux de tension et déplacement avec et sans prédistorsion

## Résultats

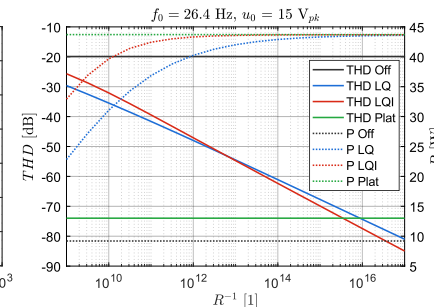
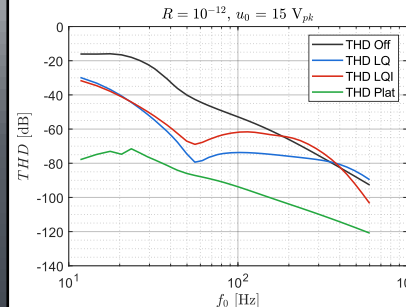
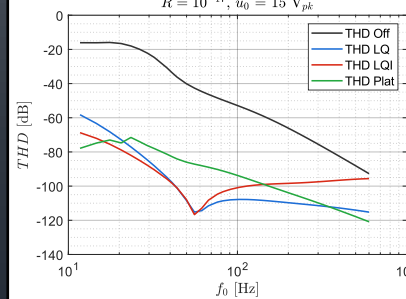


Figure 5 – Étude paramétrique sur la Distorsion Harmonique Totale (THD) et la puissance électrique



- Les contrôleurs LQ et LQI ont un comportement similaire.
- Selon le facteur de ressource R, ils peuvent linéariser d'avantage que la méthode platitude de la littérature

## Problématique

- **Compenser** la distorsion non-linéaire (linéariser)
- Linéariser par une technique de **prédistorsion**
- Investigation de **contrôleurs d'états** linéaires-quadratiques [3]
- Comparaison entre contrôleur **LQ** (Linéaire-Quadratique) et **LQI** (Linéaire-Quadra-Intégral)
- Utilisation d'**observateur** d'états non-linéaire par mesure du **courant**
- **Comparaison** avec technique de **platitude** de la littérature [2]

## Méthodes

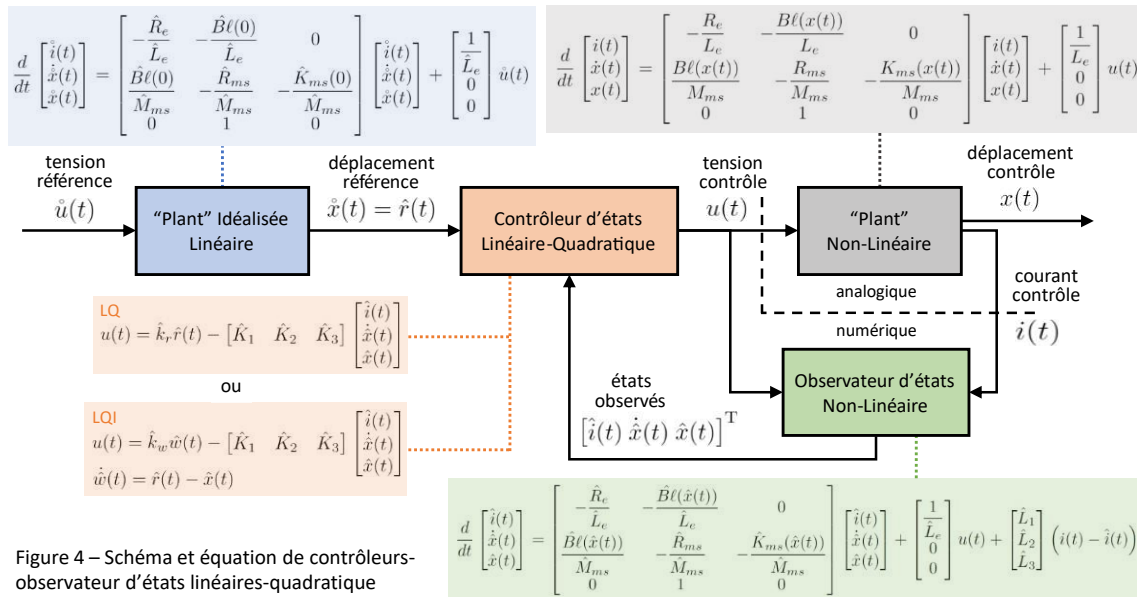


Figure 4 – Schéma et équation de contrôleurs-observateur d'états linéaires-quadratique

## Conclusion

- Les contrôleurs LQ et LQI peuvent **linéariser** un haut-parleur **autant** ou **d'avantage**, ou avec **moins de puissance**, que la méthode référence.
- Les travaux futurs incluront une investigation de la **robustesse** à la **sous-modélisation** et à l'**erreur d'identification** du modèle.

## Références

- [1] W. Klippel. "Tutorial: Loudspeaker Nonlinearities – Causes, Parameters, Symptoms," J. Audio Eng. Soc., 2006.
- [2] P. Brunet, G. Kubota. "Nonlinear Control of Loudspeaker Based on Output Flatness and Trajectory Planning," Audio Eng. Soc. Conv 147, 2019.
- [3] K. Ogata. Modern Control Engineering. Prentice Hall, 2010.