

# Un résultat intrigant en commande sans modèle

## Discussing an intriguing result on model-free control

Cédric Join<sup>1,5,6</sup>, Emmanuel Delaleau<sup>2</sup>, Michel Fliess<sup>3,5</sup>, Claude H. Moog<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CRAN (CNRS, UMR 7039), Université de Lorraine, BP 239, Cedric.Join@univ-lorraine.fr

<sup>2</sup> Département de Mécatronique, École nationale d'ingénieurs de Brest, emmanuel.delaleau@enib.fr

<sup>3</sup> LIX (CNRS, UMR 7161), École polytechnique, Palaiseau, Michel.Fliess@polytechnique.edu

<sup>4</sup> LS2N (CNRS, UMR 6004), Nantes, moog@ieee.org

<sup>5</sup> AL.I.E.N. (ALgèbre pour Identification & Estimation Numériques), Vézelize, {michel.fliess, cedric.join}@alien-sas.com

<sup>6</sup> Projet Non-A, INRIA Lille – Nord-Europe

**RÉSUMÉ.** Un exemple mathématique élémentaire prouve, grâce au critère de Routh-Hurwitz, un résultat à l'encontre de la pratique actuelle en commande sans modèle : il peut y avoir plus de difficultés à régler un correcteur proportionnel « intelligent » (iP) qu'un proportionnel-dérivé intelligent (iPD). Les simulations numériques de l'iPD et d'un PID classique tournent largement en faveur du premier. Introduction et conclusion analysent la commande sans modèle à la lumière des avancées actuelles.

**ABSTRACT.** An elementary mathematical example proves, thanks to the Routh-Hurwitz criterion, a result that is intriguing with respect to today's practical understanding of model-free control, *i.e.*, an “intelligent” proportional controller (iP) may turn to be more difficult to tune than an intelligent proportional-derivative one (iPD). The vast superiority of iPDs when compared to classic PIDs is shown via computer simulations. The introduction as well as the conclusion analyse model-free control in the light of recent advances.

**MOTS-CLÉS.** Commande sans modèle, correcteurs iP, correcteurs iPD, PID, critère de Routh-Hurwitz, réparation, apprentissage, intelligence artificielle.

**KEYWORDS.** Model-free control, iP controllers, iPD controllers, PID, Routh-Hurwitz criterion, fault accommodation, machine learning, artificial intelligence.

La première fois qu'Aurélien vit Bérénice, il la trouva franchement laide.  
Aragon (*Aurélien*. Paris : Gallimard, 1944)

## 1. Introduction

### 1.1. Généralités

Les faits suivants sont connus de tout automaticien :

- Écrire un « bon » modèle mathématique d'une machine réelle, c'est-à-dire non idéalisée, comme en physique fondamentale, est redoutable, voire impossible. Ainsi s'explique la popularité industrielle stupéfiante des correcteurs PID (voir, par exemple, [Åström & Hägglund (2006)], [Franklin *et coll.* (2015)], [Janert (2014)], [Lunze (1996)], [O'Dwyer (2009)], [Rotella & Zambettakis (2008)]). Une telle modélisation y est sans objet.
- Le tribut est lourd :
  - performances médiocres,
  - défaut de robustesse,
  - réglage laborieux des gains.













la commande sans modèle<sup>9</sup>.

3. La preuve repose sur le choix des filtres dérivateurs. Une analyse indépendante d'une telle approche reste à découvrir. Elle permettrait une meilleure compréhension du phénomène.

## Bibliographie

- ABOUAÏSSA H., ALHAJ HASAN O., JOIN C., FLIESS M., DEFER D., « Energy saving for building heating via a simple and efficient model-free control design : First steps with computer simulations ». *21st International Conference on System Theory, Control and Computing*, Sinaia, 2017a. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01568899/en/>
- ABOUAÏSSA H., FLIESS M., JOIN C., « On ramp metering : Towards a better understanding of ALINEA via model-free control ». *International Journal of Control*, 90 (2017b) : 1018-1026.
- d'ANDRÉA-NOVEL B., FLIESS M., JOIN C., MOUNIER H., STEUX B., « A mathematical explanation via “intelligent” PID controllers of the strange ubiquity of PIDs ». *18th Mediterranean Conference on Control & Automation*, Marrakech, 2010. <https://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00480293/en/>
- ÅSTRÖM K.J., HÄGGLUND T., *Advanced PID Control*. Research Triangle Park, NJ : Instrument Society of America, 2006.
- CHEON K., KIM J., HAMADACHE M., LEE D., « On replacing PID controller with deep learning controller for DC motor system ». *Journal of Automation and Control Engineering*, 3 (2015) : 452-456.
- DELALEAU E., « A proof of stability of model-free control ». *2014 IEEE Conference on Norbert Wiener in the 21st Century (21CW)*, Boston, 2014.
- DE MIRAS J., JOIN C., FLIESS M., RIACHY S., BONNET S., « Active magnetic bearing : A new step for model-free control ». *52nd IEEE Conference on Decision and Control*, Florence, 2013. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00857649/en/>
- ERDÉLYI A., *Operational Calculus and Generalized Functions*. New York : Holt Rinehart and Winston, 1962.
- FLIESS M., JOIN C., « Model-free control ». *International Journal of Control*, 86 (2013) : 2228-2252.
- FRANKLIN G.F., POWELL J.D., EMAMI-NAEINI A., *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Harlow : Pearson, 2015.
- GANTMACHER F.R., *Théorie des matrices*, t. 2 (traduit du russe). Paris : Dunod, 1966.
- GÉDOUIN P.-A., DELALEAU E., BOURGEOT J.-M., JOIN C., ARBAB CHIRANI S., CALLOCH S., « Experimental comparison of classical PID and model-free control: Position control of a shape memory alloy active spring ». *Control Engineering Practice*, 19 (2011) : 433-441.
- JANERT P.K., *Feedback Control for Computer Systems*. Sebastopol, CA : O'Reilly Media, 2014.
- JOIN C., CHAXEL F., FLIESS M., « “Intelligent” controllers on cheap and small programmable devices ». *2nd International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems*, Nice, 2013. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00845795/en/>
- LAFONT F., BALMAT J.-F., PESSEL N., FLIESS M., « A model-free control strategy for an experimental greenhouse with an application to fault accommodation ». *Computers and Electronics in Agriculture*, 110 (2015) : 139-149.
- LEICH H., BOITE J., *Les filtres numériques : Analyse et synthèse des filtres unidimensionnels*. Paris : Masson, 2013.
- LILLICRAP T.P., HUNT J.J., PRITZEL A., HEES N., EREZ T., TASSA Y., SILVER D., WIERSTRA D., « Continuous control with deep reinforcement learning ». *6th International Conference on Learning Representations*, Vancouver, 2016.
- LUNZE J., *Regelungstheorie 1*. Berlin : Springer, 1996.
- LUO B., LIU D., HUANG T., WANG D., « Model-free optimal tracking control via critic-only Q-learning ». *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 27 (2016) : 2134-2144.
- MENHOUR L., d'ANDRÉA-NOVEL B., FLIESS M., GRUYER D., MOUNIER H., « An efficient model-free setting for longitudinal and lateral vehicle control. Validation through the interconnected pro-SiVIC/RTMaps prototyping platform ». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, (2017) : DOI: 10.1109/TITS.2017.2699283

9. À ce sujet, voir aussi la conclusion de [Fliess & Join (2013)].



---

MNIH V., KAVUKCUOGLU K., SILVER D., RUSU A.A., VENESS J., BELLEMARE M.G., GRAVES A., RIEDMILLER M., FIDJELAND A.K., OSTROVSKI G., PETERSEN S., BEATTIE C., SADIK A., ANTONOGLU I., KING H., KUMARAN D., WIERSTRA D., LEGG S., HASSABIS D., « Human-level control through deep reinforcement learning ». *Nature*, 518 (2015) : 529-533.

O'DWYER A., *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules* (3rd ed.). Londres : Imperial College Press, 2009.

RADAC M.-B., PRECUP R.E., « Data-driven model-free slip control of anti-lock braking systems using reinforcement Q-learning ». *Neurocomputing*, (2017) : <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2017.08.036>

RADAC M.-B., PRECUP R.E., ROMAN R.C., « Model-free control performance improvement using virtual reference feedback tuning and reinforcement Q-learning ». *International Journal of Control*, 48 (2017) : 1071-1083.

ROTELLA F., ZAMBETTAKIS I., *Automatique élémentaire*. Paris : Hermès-Lavoisier, 2008.

SIRA-RAMÍREZ H., LUVIANO-JUÁREZ A., RAMÍREZ-NERIA M., ZURITA-BUSTAMANTE E.W., *Active Disturbance Rejection Control of Dynamic Systems: A Flatness Based Approach*. Oxford & Cambridge, MA : Elsevier, 2017.