

Laboratoire PRISME, UR 4229, UNIVERSITÉ D'ORLÉANS.

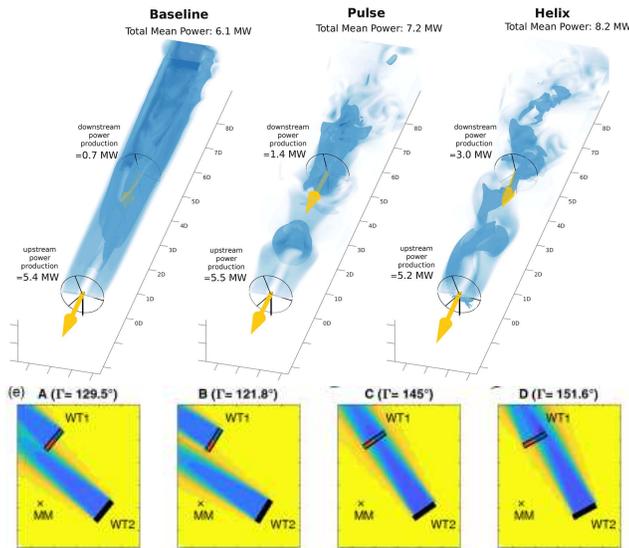


Figure 1: (a) Two wind turbines with constant (left) to time-varying (right) control inputs. (b) Two wind turbines with different incident wind: the resulting wake induces a different coupling depending on the incoming wind orientation. From [1], [2].

Context. Achieving the Paris Agreements decarbonization objectives requires UE to double the wind energy production at horizon 2030 [3]. Aside from new farms installation, an economic and almost carbon-free solution is to propose closed-loop control to target up to 30% power gain on existing wind farms [4], [5]. Yet such a task is a challenging one due to interactions between the wakes and the turbines: modifying the control on one wind turbine affects its wake, which in turn modifies the wind characteristics feeding the downstream turbines, see Figure 1. Besides, the farm power production is highly sensitive to disturbances in the incoming wind (heading, turbulence, gusts...) that affect the wakes and thus the power production overall performances.

Scientific bottlenecks. A wind farm is a complex system, whose both reliable and real-time tractable modeling is presently lacking, jeopardizing the synthesis of robust stabilizing control laws. Physics-based models, under some simplifying assumptions like e.g. [6] can allow for feedback control synthesis [7], [8], though question may arise about their scaling ability and robustness to unmodelled dynamics. Data-driven control may be a promising alternative, especially as recent results have shown their ability to ensure both stability and safety, both in indirect [9], [10] and direct data-driven frameworks [11], [12], [13]. Which data-driven approach(es) is the best suited for controlling a wind farm?

Proposed work

- Solid bibliographic work to explore the most promising data-driven approaches with respect to the goals of scaling ability, robustness, and stability guarantees.
- Synthesis of indirect and/or direct data-driven control using medium fidelity models (WFsim or existing simplified PDEs) as surrogate models of a wind farm.
- Performance evaluation with respect to existing model-based approaches.
- Evaluation on simulation using existing high fidelity models.

References can be provided on demand. We recommend to begin by the most accessible readings [13], [9], [11].

Profile and required skills: Master 2 student in control theory or applied mathematics; with good programming skills (Scilab or Matlab). Advanced proficiency in English is also expected, as well as scientific curiosity since this work requires regular exchanges with an internship student in fluid mechanics (topic: sensitivity to unsteady disturbances on experimental facilities).

How to apply?

- Please send us cover letter, CV, grades and ranking for the last two years including a transcript of the current academic records –even if incomplete– as well as any recommendation letter to:
✉ Matthieu.Fruchard@univ-orleans.fr, ☎ 02-48-23-80-14, 18 020 BOURGES.
- Candidate recruitment is [subject to ZRR approval](#) so anticipate a one-to-two months delay between your appliance and your recruitment.
- Duration: February-July 2025 (6 months)
- Location: Laboratoire Prisme, Bourges, France.

Supervisors:

- Matthieu FRUCHARD, Nacim RAMDANI, AUTOMATIQUE Team (Control Theory).
- Cédric RAIBAUDO, Nicolas MAZELLIER, ECOULEMENTS ET SYST. AÉRO. Team (Fluid Mech.).

REFERENCES

- [1] J. Meyers, C. Bottasso, K. Dykes, P. Fleming, P. Gebraad, G. Giebel, T. Göçmen, and J.-W. van Wingerden, “Wind farm flow control: prospects and challenges,” *Wind Energy Science*, vol. 7, no. 6, pp. 2271–2306, 2022.
- [2] J. Schreiber, C. L. Bottasso, and M. Bertelè, “Field testing of a local wind inflow estimator and wake detector,” *Wind Energy Science*, vol. 5, no. 3, pp. 867–884, 2020.
- [3] “Net zero emission roadmap,” IEA, Tech. Rep., 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>
- [4] W. Munters and J. Meyers, “Towards practical dynamic induction control of wind farms: analysis of optimally controlled wind-farm boundary layers and sinusoidal induction control of first-row turbines,” *Wind Energy Science*, vol. 3, no. 1, pp. 409–425, 2018.
- [5] C. R. Shapiro, G. M. Starke, and D. F. Gayme, “Turbulence and control of wind farms,” *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 5, no. Volume 5, 2022, pp. 579–602, 2022.
- [6] C. R. Shapiro, D. F. Gayme, and C. Meneveau, “Modelling yawed wind turbine wakes: a lifting line approach,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 841, 2018.
- [7] E. B. R. F. Paiva, O. Lepreux, and D. Bresch-Pietri, “Free-flow wind speed estimation for a wind turbine affected by wake,” in *2023 American Control Conference (ACC)*, 2023, pp. 171–176.
- [8] W.-J. Liu and M. Krstić, “Adaptive control of burgers’ equation with unknown viscosity,” *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, vol. 15, no. 7, pp. 745–766, 2001.
- [9] V. Breschi, C. D. Persis, S. Formentin, and P. Tesi, “Direct data-driven model-reference control with lyapunov stability guarantees,” *2021 60th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, pp. 1456–1461, 2021.
- [10] T. Martin, T. B. Schön, and F. Allgöwer, “Guarantees for data-driven control of nonlinear systems using semidefinite programming: A survey,” *Annual Reviews in Control*, vol. 56, p. 100911, 2023.
- [11] C. D. Persis and P. Tesi, “Formulas for data-driven control: Stabilization, optimality, and robustness,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 65, pp. 909–924, 2019.
- [12] J. Berberich, J. Köhler, M. A. Müller, and F. Allgöwer, “Data-driven model predictive control with stability and robustness guarantees,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 66, no. 4, pp. 1702–1717, 2020.
- [13] I. Markovskiy, L. Huang, and F. Dörfler, “Data-driven control based on behavioral approach: From theory to applications in power systems,” *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 43, no. 4, pp. 28–68, 2023.

Contrôle basé données d'une ferme éolienne

Contexte. Les accords de Paris sous recommandation du GIEC nécessitent un doublement de la production d'énergie éolienne d'ici 2030 [3]. Outre l'ouverture de nouvelles fermes, une solution peu coûteuse économiquement et écologiquement repose sur le contrôle des fermes en boucle fermée puisqu'il permettrait des gains de production de 30% sur les fermes existantes [4], [5]. Cependant, le couplage entre éoliennes est complexe car le contrôle des éoliennes amont modifie les caractéristiques de leur sillage et ainsi les conditions opératoires des éoliennes aval, voire le couplage lui-même; la production d'énergie est aussi fortement sensible aux caractéristiques du vent incident.

Problématique. La modélisation de ces interactions est souvent menée par des approches de résolution numériques des équations de Navier Stokes, lesquelles ne sont pas du tout adaptées au contrôle temps réel. En fait, il n'existe pas de consensus sur des modèles à la fois fiables, représentatifs et efficaces, ce qui complique la synthèse de lois de commande robustes de ces systèmes. Les approches basées modèle reposent sur des hypothèses simplificatrices, par exemple [6], afin d'obtenir des systèmes dont on puisse garantir la stabilité en boucle fermée [7], [8], mais se pose alors la question de la représentativité du modèle et de la robustesse à des dynamiques non modélisées, mais aussi de la capacité à passer à l'échelle avec un nombre élevé d'éoliennes. L'alternative des approches basées données mérite alors d'être explorée, d'autant que des résultats récents montrent que leur stabilité, par exemple au sens de Lyapunov, peut être étudiée comme dans le cas basé modèle [10]. Au sein de ces approches, on distingue entre approches indirectes [9], [10] et directes [11], [12], [13]. Ces approches ont principalement été testées sur des systèmes de faible dimension, ce qui n'est pas le cas ici. La ou lesquelles sont les plus susceptibles de répondre au contrôle de fermes éoliennes? C'est là tout l'enjeu de ce stage.

Travail proposé

- Une étude bibliographique approfondie afin de déterminer les pistes les plus prometteuses à explorer avec pour objectifs la robustesse, le passage à l'échelle et la garantie de stabilité.
- La synthèse de ces approches aux fermes éoliennes, en utilisant des modèles existants comme simulateurs de fermes d'éoliennes.
- L'évaluation de leurs performances par rapport aux approches basées modèle existantes.
- L'évaluation de la commande sur un simulateur de ferme d'éoliennes haute fidélité.

Nous vous recommandons de commencer par les lectures les moins techniques: [13], [9], [11]. Si vous n'accédez pas aux sources, merci de m'en faire la demande.

Attention, le recrutement est soumis à approbation ZRR: il convient donc d'anticiper un délai de 1 à 2 mois entre votre demande et le début du stage.