

Équation parabolique 3D pour la propagation du bruit des éoliennes dans l'environnement

Contexte

La production d'énergie renouvelable est un des enjeux majeurs actuels, et l'énergie éolienne prend de plus en plus d'importance. On estime que jusqu'à 24 % de l'électricité de l'Union Européenne pourrait provenir de l'éolien d'ici 2030, soit 10 % de plus qu'aujourd'hui. L'éolien contribuerait à une part significative de l'objectif de 32 % d'énergie renouvelable fixé par l'accord de Paris sur le climat [1]. Un des freins importants à son développement est le bruit éolien, qui est source de gêne chez les riverains [2] et qui impacte aussi la biodiversité [3]. Ainsi, la réglementation actuelle contraint les industriels à tourner à bas-régime sur certaines installations existantes, diminuant considérablement leur rendement, et rend complexe le choix de site pour de nouveaux parcs éoliens.

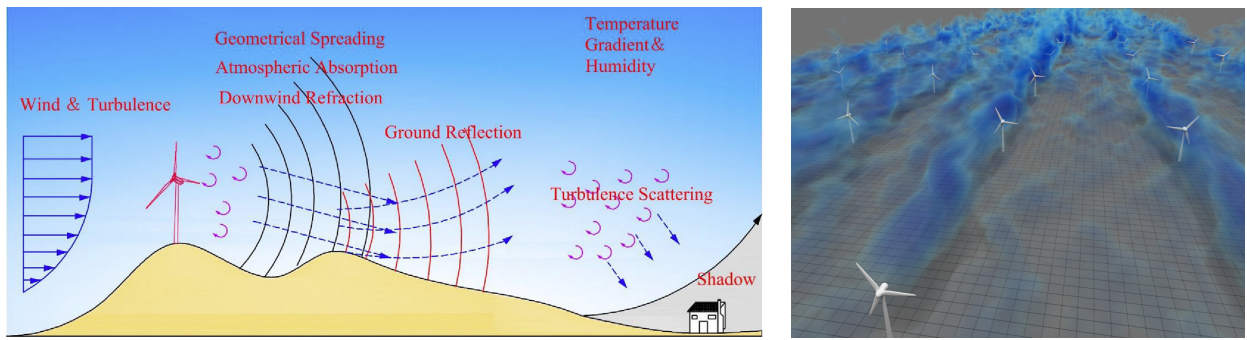


FIGURE 1 – (gauche) Schéma des mécanismes affectant l'écoulement atmosphérique et la propagation du bruit émis par une éolienne [4] et (droite) écoulement simulé par une approche LES dans un parc éolien, avec les régions basse vitesse en bleu [5].

Il est donc nécessaire de pouvoir correctement prédire la propagation du bruit généré par une éolienne dans l'atmosphère, afin de mieux comprendre ses mécanismes pour le réduire, mais aussi afin de mener des études d'impact acoustique fiables lors de la conception de nouveaux parcs. Pour cela, plusieurs éléments doivent être pris en compte comme l'illustre la Fig. 1a. En effet, les effets météorologiques, tels que la variation du vent, de la turbulence ou de la température avec l'altitude, ont un impact important sur la propagation du son. La présence de l'éolienne affecte également l'écoulement atmosphérique, comme le montre la Fig. 1b. De plus, la topographie et l'impédance du sol peuvent avoir un effet significatif, à la fois sur l'écoulement et directement sur la réflexion des ondes acoustiques au sol.

Afin de prédire le bruit l'éolien, des simulations numériques sont donc nécessaires. De nombreuses méthodes numériques existent pour prédire la propagation acoustique dans l'atmosphère. L'état de l'art pour l'éolien [4, 6] se base sur l'utilisation de l'équation parabolique (EP), qui est une méthode efficace pour la prédiction de la propagation acoustique dans l'atmosphère suivant une direction privilégiée. Les modèles existants se limitent à une approche bidimensionnelle (2D), en calculant la propagation dans le plan vertical contenant la source et le récepteur. Cette approche néglige les effets de propagation transverse : c'est une hypothèse forte, car l'écoulement autour de l'éolienne présente un fort aspect tridimensionnel (3D).

Récemment, nous avons réalisé une première étude [7] illustrant l'importance des effets tridimensionnels dans le sillage d'une éolienne en utilisant le code EP3D développé par Khodr *et al.* [8]. Le code de résolution utilisé dans l'étude présente néanmoins plusieurs limitations. Il est basé sur une équation valable seulement pour des petits angles de propagation autour de la direction privilégiée. De plus, les conditions aux limites de non-réflexion implémentées sont peu efficaces et le code ne peut prendre en compte que des profils analytiques de vent et de température.

Travail proposé

L'objectif de ce stage est de développer un code EP3D pour déterminer la propagation acoustique dans l'atmosphère pour l'appliquer à terme à la propagation du bruit des éoliennes. Pour cela, on se basera sur une équation parabolique récemment proposée par la littérature [9]. On commencera par implémenter l'équation parabolique en 2D avant de passer au 3D. Des cas-tests seront réalisés pour valider pas-à-pas l'implémentation.

Le stage se déroulera au LMFA (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique) sur le campus de l'Ecole Centrale de Lyon. Le stage pourra déboucher sur une thèse de doctorat démarrant en octobre 2026 (le financement de la thèse est déjà obtenu).

Profil recherché

Étudiant en dernière année d'école-ingénieur ou en Master 2 avec une spécialisation en acoustique et/ou en mécanique des fluides. Des compétences en programmation sont appréciées.

Candidature

Envoyer un mail et un CV à :

- Jules Colas, post-doctorant, jules.colas@ec-lyon.fr
- Didier Dragna, enseignant-chercheur, didier.dragna@ec-lyon.fr

Références

- [1] Wind energy technology development report, low carbon energy observatory, Wind Energy Technology Development Report, Low Carbon Energy Observatory, 2019.
- [2] M. Pawlaczyk-Łuszczynska, K. Zaborowski, A. Dudarewicz, M. Zamojska-Daniszewska, and M. Waszkowska. Response to noise emitted by wind farms in people living in nearby areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018.
- [3] L. Hanna, L. Feinberg, J. Brown-Saracino, F. Bennet, R. May, and J. Köppel. Results of IEA wind adaptive management white paper. Technical report, International Energy Agency Wind Implementing Agreement, 2016.
- [4] W. Z. Shen, W. J. Zhu, E. Barlas, and Y. Li. Advanced flow and noise simulation method for wind farm assessment in complex terrain. *Renewable Energy*, 143 :1812–1825, 2019.
- [5] R. J. A. M. Stevens, D. F. Gayme, and C. Meneveau. Effects of turbine spacing on the power output of extended wind-farms. *Wind Energy*, 19(2) :359–370, 2015.
- [6] B. Kayser, Gauvreau B, and D. Ecotiére. Sensitivity analysis of a parabolic equation model to ground impedance and surface roughness for wind turbine noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5) :3222–3231, 2019.
- [7] H. Bommidala, J. Colas, A. Emmanuelli, D. Dragna, C. Khodr, B. Cotté, and R. J.A.M. Stevens. Three-dimensional effects of the wake on wind turbine sound propagation using parabolic equation. *Journal of Sound and Vibration*, 608 :119036, 2025.
- [8] C. Khodr, M. Azarpeyvand, and D. N. Green. An iterative three-dimensional parabolic equation solver for propagation above irregular boundaries. *Journal of the Acoustical Society of America*, 148(2) :1089–1100, 2020.
- [9] V. E. Ostashev, J. Colas, D. Dragna, and D. K. Wilson. Phase-preserving narrow- and wide-angle parabolic equations for sound propagation in moving media. *Journal of the Acoustical Society of America*, 155(2) :1086–1102, 02 2024.