

Prévoir l'Impact du Bruit des Eoliennes : bilan du projet PIBE

D. Ecotière (UMRAE/Cerema), B. Gauvreau (UMRAE/UGE), B. Cotté (ENSTA), M. Roger (ECL),
I. Schmich Yamane (EDF DTG), F. Junker (EDF Ren.)

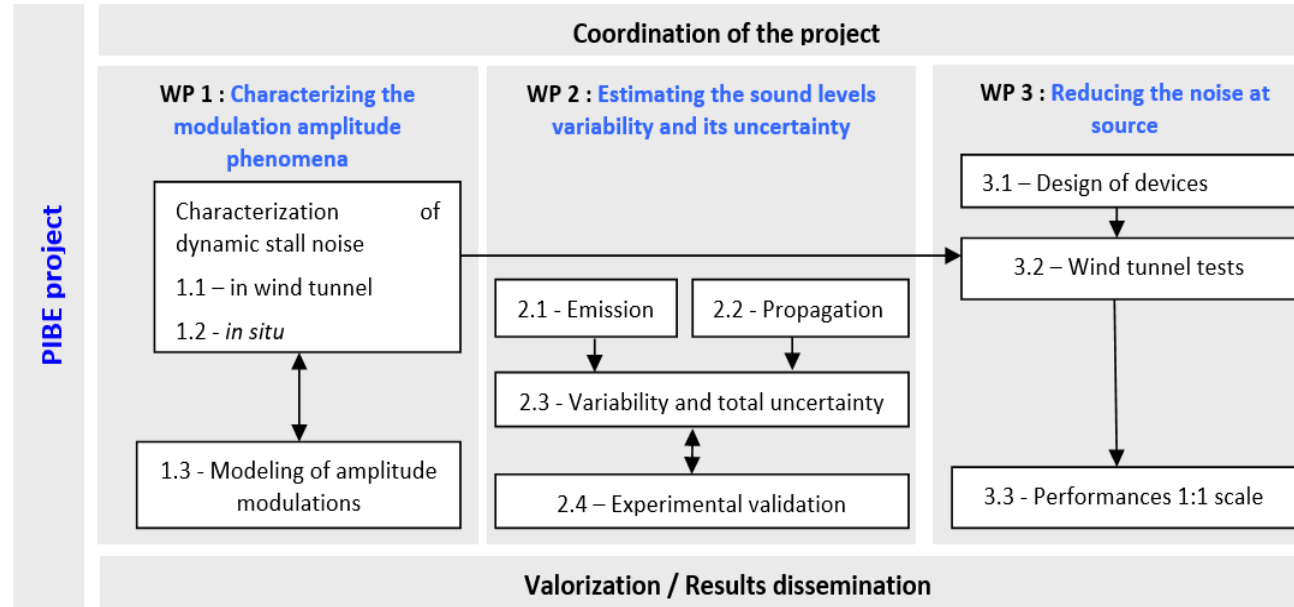
Journées Techniques Acoustique et Vibrations 2024 – Autun

- **PIBE** : Prévoir l'Impact du Bruit des Eoliennes
- **Partenaires** : UMRAE (Cerema-Univ Eiffel), IMSIA (ENSTA-Partistech), LMFA (ECL), EDF Renouvelables, EDF DTG (+ Cerema CE, Cerema NC)
- **Durée** : 2019-2023 (4+1 ans)
- **Budget** : 1 360 k€ (ANR=702k€)
- **Soutien** : Pôle Mer Bretagne Atlantique

 www.anr-pibe.com



- **Axe 1** : Caractériser les modulations d'amplitudes du bruit éolien
- **Axe 2** : Estimer la variabilité des niveaux sonores et leurs incertitudes
- **Axe 3** : Etudier de nouvelles solutions de réduction du bruit à la source

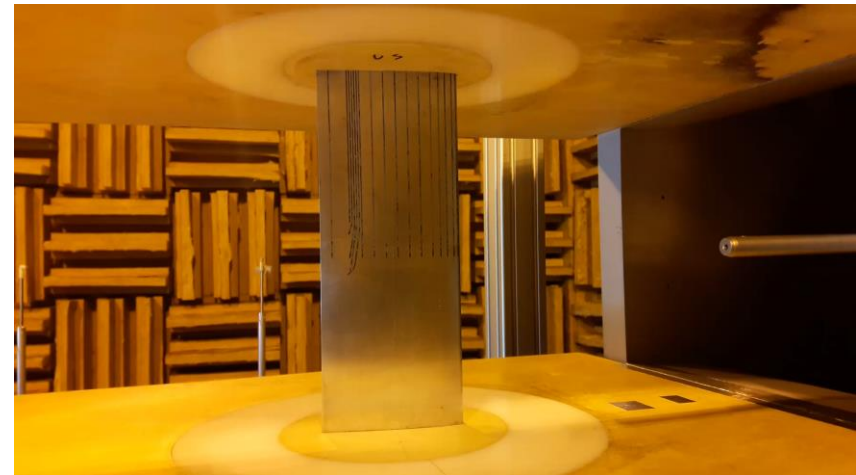
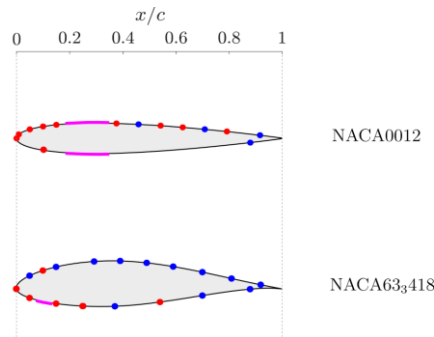
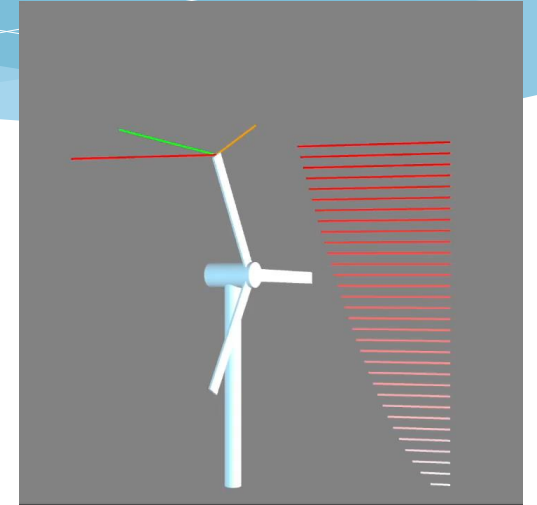


Axe 1

Caractériser les modulations d'amplitudes du bruit éolien

Axe 1 : modulations d'amplitude

- Bruit de décrochage dynamique (ENSTA, ECL)
 - Variation cyclique de l'angle d'attaque des pales
 - Tests en soufflerie anechoïque

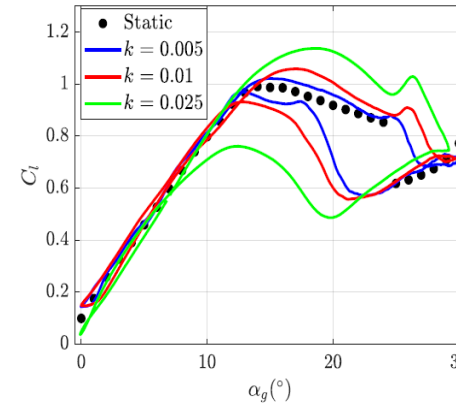


Axe 1 : modulations d'amplitude

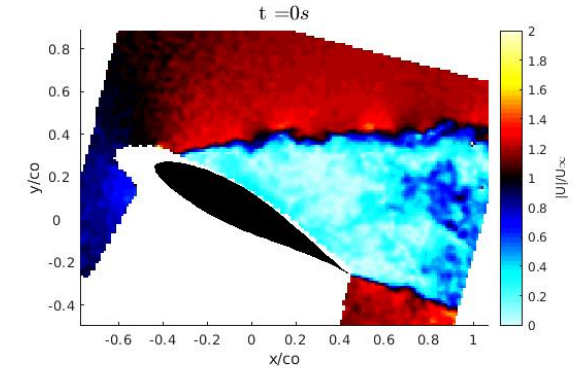
○ Bruit de décrochage dynamique

■ Analyse aérodynamique

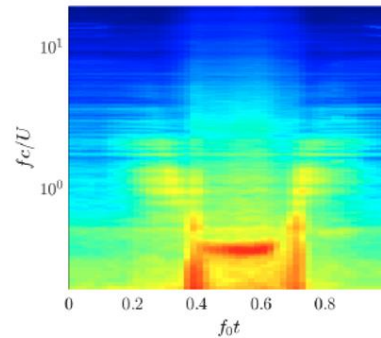
- Portance C_t
- Imagerie PIV



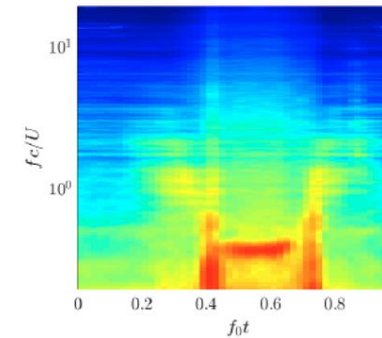
(b) $U = 50 \text{ m/s}$



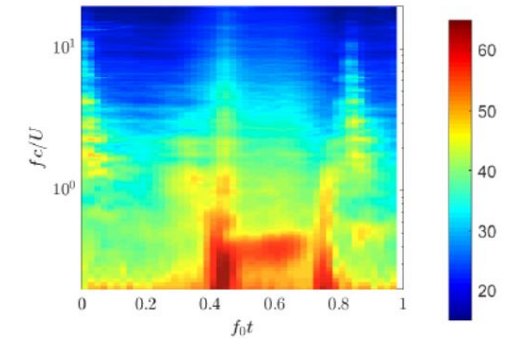
■ Analyses acoustiques



(a) $k=0.005$



(b) $k=0.01$



(c) $k=0.025$

○ Base de données en ligne



disponible 10/2024

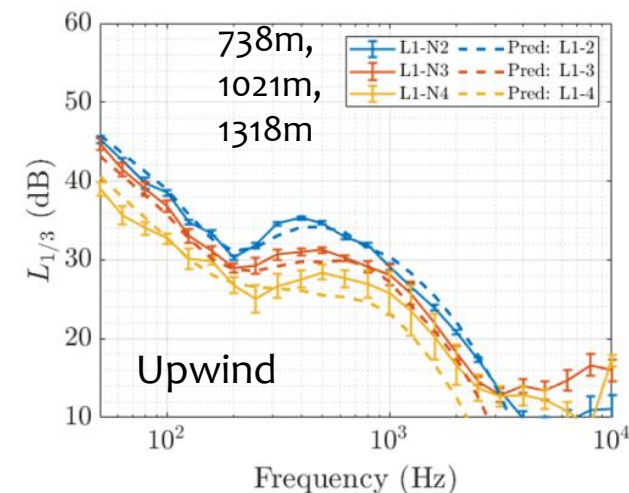
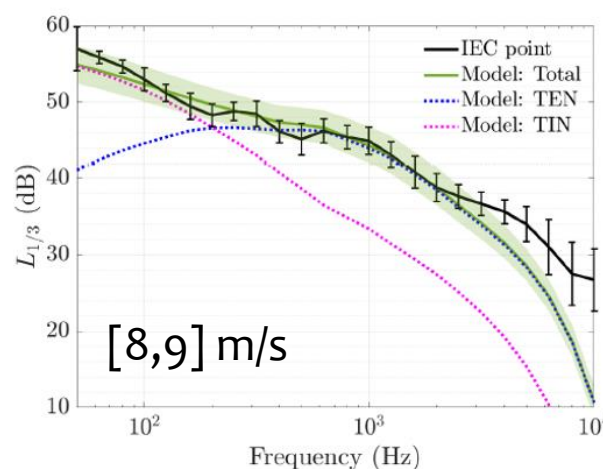
Axe 2

Estimer la variabilité des niveaux sonores et leurs incertitudes

- Modèle de prévision du bruit éolien de référence (ENSTA, UMRAE)

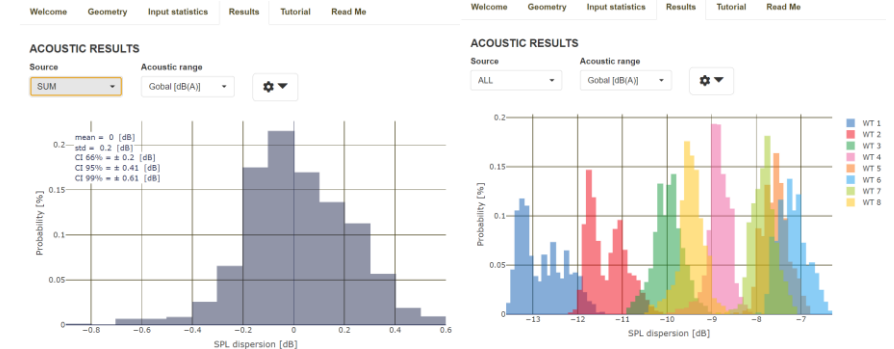
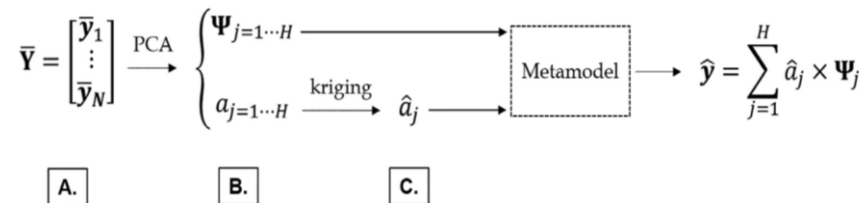
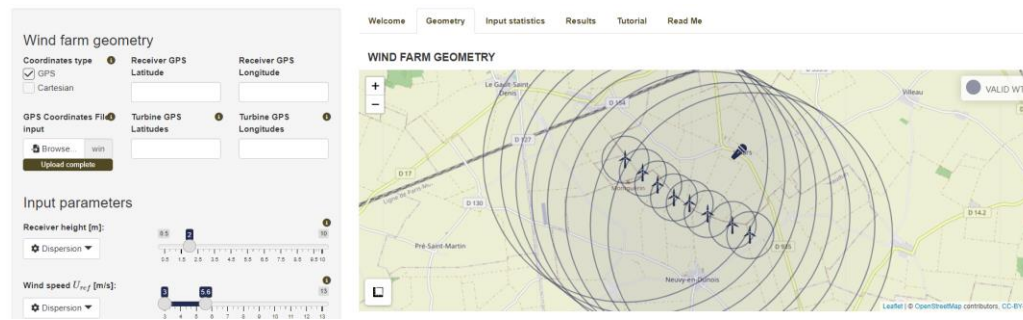
- Emission : théorie Amiet
- Propagation : WAPE

- Disponible en ligne



<https://github.com/Universite-Gustave-Eiffel/WAPE>

- Outil web incertitudes (UMRAE)
 - Modèle de référence + métamodèle + approche Monte Carlo = WindTUNE



 disponible 10/2024

- Campagne expérimentale *in situ* (UMRAE, Cerema, EDF)
 - Site
 - Parc de la Beauce
 - Plat (pente < 2% sur 3km)
 - 8 éoliennes
 - 3 MW
 - H=80m, R=45m
 - Période d'observation de long terme
 - 5 points acoustiques
 - 410 jours (2020-21)
 - Périodes d'observation de court terme
 - 1 semaine en été
 - 1 semaine en hiver
 - LT + 10 points acoustiques + 2 points IEC



Axe 2 : variabilité et incertitudes

○ Long terme

■ Acoustique

- 5 points (h=1,5m)
- -1400m à +1300m
- Leq(100ms)
- [6,3Hz; 20kHz]
- 2min toutes les 10min



■ Météo

- Lidar météo : 10 min profils verticaux de vent (vit., dir.) (11 hauteurs, 10m-185 m)
- mât météo 80m
 - * Profil T° (4 hauteurs, 6m-80m)
 - * 3 sonic anemo 3D : profil de turbulence (3 hauteurs, 10m-80m)
- Vent à hauteur de nacelle



■ Impedance acoustique de sol

- 2 localisations
- 1 mes/mois



■ Données éoliennes (SCADA)

- Production, pitch, vitesse rotation...



Axe 2 : variabilité et incertitudes

○ Court terme =

Long terme +

- Acoustique (+ 10 points)

- -2000m to +2000m

- Lw éolienne

- 2 points IEC 61400-11 points

- Meteo

- Hiver : 2d Lidar météo : profil vertical vent 10 min (vit., dir.) (11 hauteurs, 10m-185 m)

- 2 sonic anemo 3D : flux vent et T° (MOST theorie) -> profil vertical de vitesse du son



Axe 2 : variabilité et incertitudes

○ Acoustique

- > 57 million données individuelles, >57 600 échantillons audio (2min)

○ Météo

- Profil vertical de vent (vit., dir.) (11 hauteurs, 10m-185 m)
- Profil vertical de température (4 hauteurs, 6m-80m)
- Profil vertical de turbulence de vent (3 hauteurs, 10m-80m)
- Vent hauteur nacelle



○ Données complémentaires

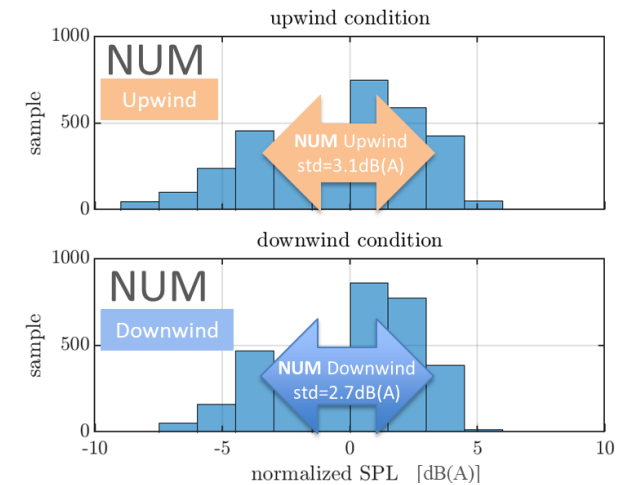
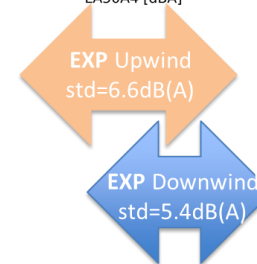
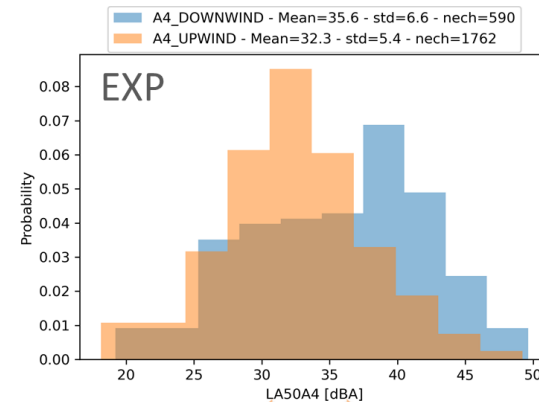
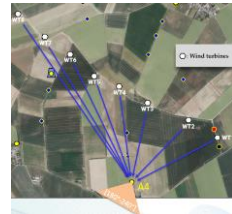
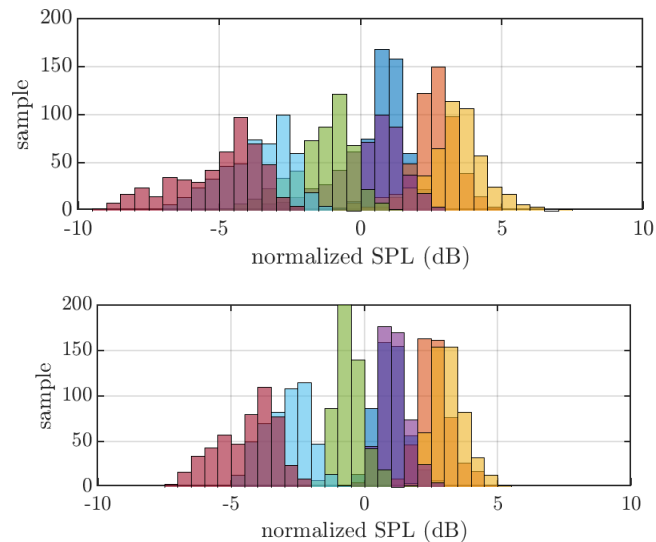
- Données parc éolien (prod. elec., pitch, rotation...)
- Informations sur sources parasites : train, avions, bruit du vent au microphone.

○ Base de données via un outil dédié (indexation, requêtes) Elasticsearch+Shiny



disponible 10/2024

○ Premières validations WindTUNE vs exp.

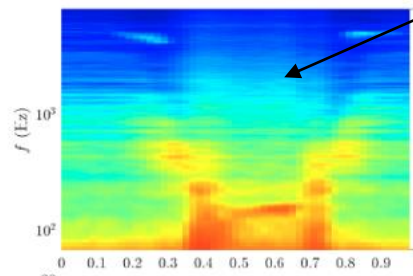
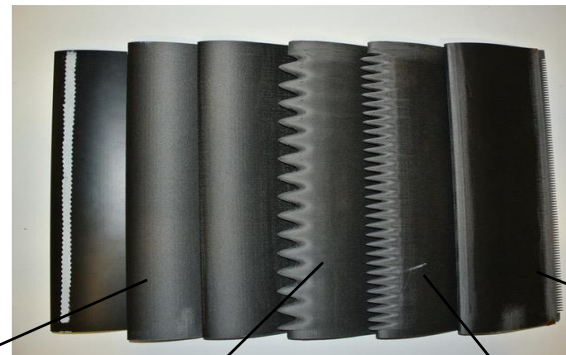
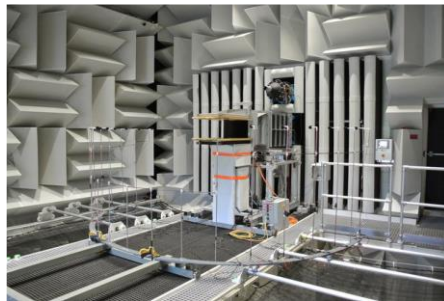


Axe 3

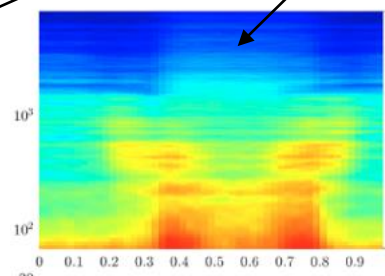
Etudier de nouvelles solutions de réduction du bruit à la source

Axe 3 : réduire le bruit à la source

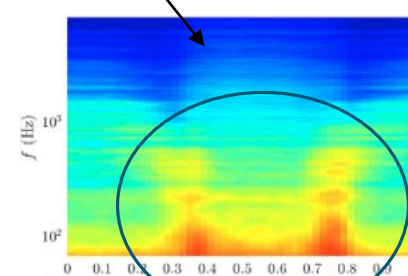
- Réduction du bruit de bord d'attaque (ECL)
 - Bio-inspiré : ondulations de bord d'attaque
 - Essais en soufflerie anéchoïque



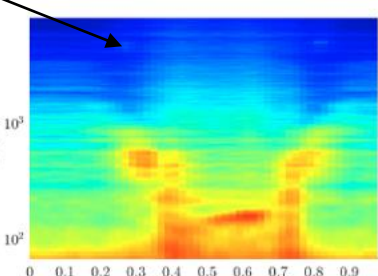
Référence



Ondulations 20mm



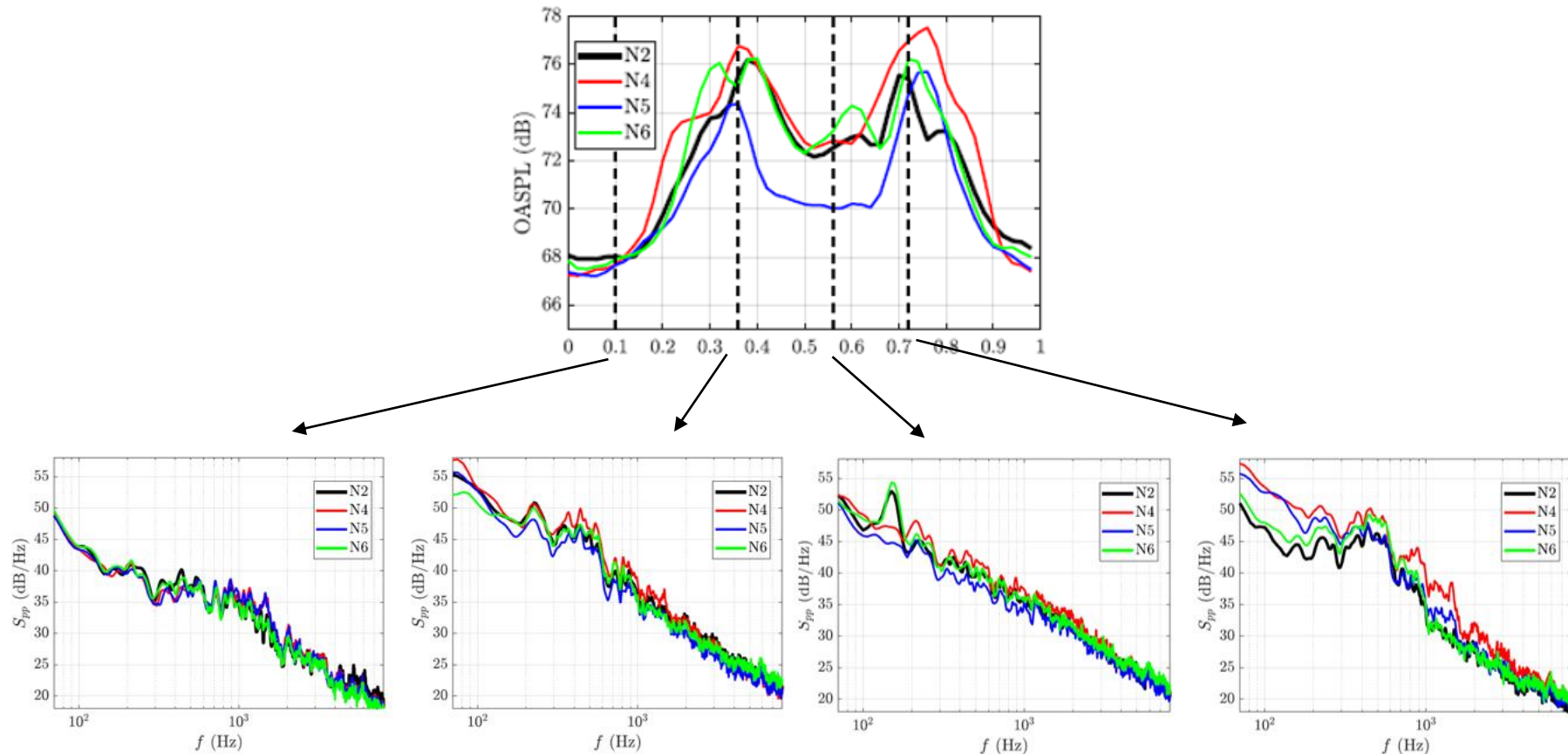
Ondulations 10mm



Serrations

Axe 3 : réduire le bruit à la source

○ Réduction du bruit de bord d'attaque (ECL)



- Modèle de propagation du bruit éolien
- Base de données expérimentales du bruit de décrochage dynamique
- Base de données expérimentales de longue durée du bruit d'un parc éolien
- Outil web de calcul des incertitudes des prévisions du bruit éolien
- Package de calcul des incertitudes de prévisions par modèle d'ingenierie du bruit éolien
- Evaluations de nouvelles solutions de réduction du bruit à la source



- Kayser, B., Ecotière, D., Gauvreau, B., 2023. Criteria for the assessment of the influence of atmospheric turbulence on wind turbine noise propagation. *Acta Acustica* 7, 63.
- Kayser, B., Mascarenhas, D., Cotté, B., Ecotière, D., Gauvreau, B., 2023. Validity of the effective sound speed approximation in parabolic equation models for wind turbine noise propagation. *The Journal of the Acoustical Society of America* 153, 1846–1854
- Raus, D., Cotté, B., Monchaux, R., Jondeau, E., Souchotte, P., Roger, M., 2022. Experimental study of the dynamic stall noise on an oscillating airfoil. *Journal of Sound and Vibration* 537, 117144
- Sicard, L., Monchaux, R., Cotté, B., Raus, D., Jondeau, E. Experimental characterization of the airfoil stall noise at high angles of attack. *Soumis à Journal of Fluid Mechanics* 2024



- Cotté, B., Sicard, L., Monchaux, R., Jondeau, E., Souchotte, P., Roger, M., 2024. Experimental characterization of stall noise on a pitching wind turbine blade section, in: *Proc. Inter-Noise 2024, Nantes*.
- Ecotière, D., Gauvreau, B., Cotté, B., Roger, M., Schmich-Yamane, I., Junker, F., 2024. Predicting the impact of wind turbine noise: general overview and results of the PIBE project, in: *Proc. Inter-Noise 2024,, Nantes*.
- Gauvreau, B., Alarcon, A., Bianchetti, S., Boittin, R., Brendel, L., Cotté, B., Gary, V., Guillaume, G., Junker, F., Kayser, B., Lefèvre, H., Litou, G., Mascarenhas, D., Ripolles, J., Schmich-Yamane, I., Ecotière, D., 2024. Uncertainties in numerical predictions and experimental characterization of wind farm noise, in: *Proc. Inter-Noise 2024, Nantes*.
- Guillaume, G., Cotté, B., Ecotière, D., Gauvreau, B., Lefèvre, H., Junker, F., Schmich-Yamane, I., 2024. Development and distribution of an in situ experimental wind turbine noise database, in: *Proc. Inter-Noise 2024, Nantes*.
- Ripolles, J., Thénint, T., Schmich-Yamane, I., 2024. Introducing uncertainties in acoustic engineering studies, in: *Proc. Inter-Noise 2024, Nantes*.
- Ecotière, D., 2023. Uncertainties of band sound levels when estimated from monochromatic outdoor sound propagation calculations, in: *Proc. Internoise, Chiba, Japan*.
- Kayser, B., 2023. Open access of a wide-angle parabolic equation model for sound propagation in a moving atmosphere above an absorbing and rough ground, in: *Proc. Forum Acusticum, Torino, Italy*.
- Bianchetti, S., Kayser, B., Guillaume, G., Gauvreau, B., Notarantonio A., Junker F., Ecotière, D., 2023. Variability and uncertainty of wind farm noise: A comparison between numerical predictions and in-situ measurements, in: *Proc. Forum Acusticum, Torino, Italy*.
- Cotté, B., Mascarenhas, D., Ecotière, D., Guillaume, G., Gauvreau, B., Junker, F., 2023. Validation of a wind turbine noise propagation model against field measurements, in: *Proc. Forum Acusticum, Torino*
- Kayser, B., Bianchetti, S., Ecotière, D., Gauvreau, B., 2023. WindTUNE: a new tool for modelling wind farm noise uncertainties, in: *Proc.10th International Conference on Wind Turbine Noise, Dublin, Ireland*
- Kayser, B., Ecotière, D., Gauvreau, B., 2022. Modelling the uncertainties of wind farm noise predictions, in: *Proceeding of Inter-Noise 2022, Glasgow, UKf*
- Ecotière, D., Gauvreau, B., Schmich-Yamane, I., Alarcon, A., Nessi, M.-C., Junker, F., Guillaume, G., Gary, V., Brendel, L., Litou, G., Boittin, R., Segaud, L., Lefèvre, H., 2022. A large-scale, long-term experimental campaign for the investigation of wind turbine noise fluctuations and amplitude modulation phenomena, in: *Proceeding of Inter-Noise 2022, Glasgow, UK*
- Mascarenhas, D., Cotté, B., Doaré, O., Ecotière, D., Guillaume, G., Gauvreau, B., Schmich-Yamane, I., Junker, F., 2022. Wind turbine noise modeling including aeroacoustic sources and propagation effects: comparison against field measurements, in: *Proceeding of Inter-Noise 2022, Glasgow, UK*
- Raus, D., Cotté, B., Monchaux, R., Lafoux, B., Jondeau, E., Souchotte, P., Roger, M., 2020. Experimental Investigation of the Acoustic Radiation of an Oscillating Airfoil, in: *Proc. 9th Forum Acusticum. Presented at the 9th Forum Acusticum, Lyon, France*
- Raus, D., Sicard, L., Cotté, B., Monchaux, R., Jondeau, E., Souchotte, P., Roger, M., 2021. Experimental characterization of the noise generated by an airfoil oscillating above stall, in: *Proc. Aviation Forum. Online, pp. 2021–2291*
- Ecotière, D., Gauvreau, B., Cotté, B., Roger, M., Schmich, I., Nessi, M.-C., 2019. PIBE: a new French project for predicting the impact of wind turbine noise, in: *Proceeding of 8th International Conference on Wind Turbine Noise. Presented at the 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lisbon, Portugal*.



Bilan scientifique

- Congrès Internoise 2024, Nantes (session «Wind turbine Noise»)
- 27-28 août 2024



Journée de restitution publique

- Cerema, Lyon
- 24 octobre 2024



- Contact :
 - david.ecotiere@cerema.fr



www.anr-pibe.com



ANR-18-CE04-0011