



## Méthode d'estimation des incertitudes du bruit éolien en conditions favorables à la propagation

B. Kayser (Cerema/UMRAE)

Post doc dans le cadre du projet anrPIBE





### Constat

### Contexte de la transition énergétique

- $\Rightarrow$  fort développement du secteur éolien
- $\Rightarrow$  bruit : problématique mise en avant

### Mesures sur site

 $\Rightarrow$  constate une grande dispersion des niveaux

Connaitre l'origine des variabilités & les quantifier









## Source de variabilité et d'incertitudes







## Problématique

### Bureau d'étude acoustique

- Représentativité des mesures

### Les riverains

- Enjeu social et sanitaire

### Les exploitants

- Niveaux sonores réels qui dépassent les prévisions ?
- Risque : bridage des machines -> productivité & enjeu économique

## Démarche scientifique

### Modélisation de l'émission acoustique

- Sources de bruit principales : bruit d'impact de turbulence & turbulence bord de fuite
- Spectre
- Directivité

### Modélisation des effets de l'environnement sur la propagation du son

- Prise en compte des effets de sol (absorption, rugosité)
- Prise en compte des effets de l'atmosphère (vent et température)

### Analyse d'incertitude des niveaux sonores

- Variabilité des niveaux sonores (position / fréquence)
- Distribution des niveaux sonores















## 1. La modélisation



Bruit d'origine aérodynamique



R. K. Amiet, Acoustic radiation from an airfoil in a turbulent stream. *Journal of Sound and Vibration*, 1975

R. K. Amiet, Noise due to turbulent flow past a trailing edge. Journal of Sound and Vibration, 1976

M. Roger, et S. Moreau, Back-scattering correction and further extensions of Amiet's trailing-edge noise model. Part 1 : theory. Journal of Sound and Vibration, 2005

S. Moreau, et M. Roger, Back-scattering correction and further extensions of Amiet's trailing-edge noise model. Part II : Application. Journal of Sound and Vibration, 2009





### 1. Modèle de source : strip theory

Bill Kayser





*<u>Strip theory</u>* : découpe la pale en *S* = 8 segments

- Tenir compte de la géométrie variable de la pale
- Tenir compte du flux d'air incident non uniforme

→ Valide en champ libre et condition homogène
nécessite un modèle de propagation (effets de sols
et de l'atmosphère)

## **α** 1. Modèle de propagation : eq.Parabolique



Effets de sol :

٠



- Absorption acoustique au travers du modèle d'impédance de Miki<sup>[1]</sup>
- Diffusion au travers d'un spectre de rugosité gaussien

### Effets de l'atmosphère :



- Réfraction induite par les gradients verticaux de vent et de température
- Absorption atmosphérique qui dépend de la température et de l'hygrométrie
- Diffusion acoustique par la turbulence atmosphérique





## 1. Modèle total : émission + propagation



[2] Tian, Y., and Cotté, B. (2016). Wind turbine noise modeling based on Amiet's theory: Effects of wind shear and atmospheric turbulence. Acta Acust. United Acust. 102, 626–639.





## 2. Propagation d'incertitudes

αe



## 2. Paramètres d'entrée

### Paramètres de sol

1. Modèle d'impédance de Miki

$$Z(f) = \rho_0 c \left[ 1 + 5.5 \left( \frac{f}{a_{fr}} \right)^{-0.632} + i8.43 \left( \frac{f}{a_{fr}} \right)^{-0.632} \right]$$

2. Spectre gaussien de rugosité de sol

$$W(k) = \frac{\sigma_h^2 l_c^{-k^2 l_c^2}}{2\sqrt{\pi}}$$

Paramètres atmosphériques

1

#### **Parameters** Description Values **Distribution law** $a_{\rm fr}$ (kN.s.m<sup>-4</sup>) Airflow resistivity of the ground ∈ [50; 5000] lognormal $l_c$ (m) Correlation length of the rough ground 0.5 $\sigma_h$ (m) Standard deviation of the roughness height 0.025 $h_r$ (%) Relative humidity of air 84% $T_0$ (° C) Atmospheric ground surface temperature uniform ∈ [0; 30] $a_u$ (m/s) Wind profile coefficient ∈ [0.67; 1.67] uniform Temperature profile coefficient $a_T$ (K/m) $\in [-0.5; 0.25]$ uniform Vegetation height $h_v$ (m) ∈ [0; 1] uniform **θ** (° Wind and source-receiver angle ∈ [0:90] uniform

#### Concentre sur les conditions portantes « downwind »

- conditions les plus défavorables pour les riverains
- la turbulence atmosphérique peut etre négligée dans ces
  - conditions (pas de zone d'ombre)
- → ∆*L*≥-25 dB <sup>[2]</sup>

Célérité effective: 
$$c_{eff}(z) = \sqrt{\gamma RT(z)} +$$

 $c_{eff}(z) = \sqrt{\gamma RT(z) + U(z) \cos \theta}$ 

avec: 
$$U(z) = \boldsymbol{a}_{\boldsymbol{u}} \ln \left(\frac{z-d}{z_0}\right) \& T(z) = \boldsymbol{a}_T \ln \left(\frac{z-d}{z_0}\right) + \boldsymbol{T}_{\boldsymbol{0}}$$

2. Absorption atmosphérique: ISO 9613-1

[1] Kayser, B., Cotté, B., Ecotière, D., and Gauvreau, B. (2020). Environmental parameters sensitivity analysis for the modeling of wind turbine noise in downwind conditions. J. Acoust. Soc. Am. 148, 3623–3632.

08/06/2021

[2] Heimann, D., and Salomons, E.M. (2004). Testing meteorological classifications for the prediction of long-term average sound levels. Appl. Acoust. 65, 925–950.







Réalisation d'un métamodèle : modèle approché rapide

- 1. jeu d'apprentissage
- 2. interpolation par krigeage

thèse Bill Kayser. « Estimation des incertitudes de modélisation du bruit des éoliennes. » 2020 ill Kayser 13



## 2. Résultats : distribution des SPL



- Niveaux sonores distribués autour d'un seul mode
- Distribution qui dépend de la fréquence : spectre d'émission + effets propagatifs

ZA



15

### 2. Résultats : intervalles de confiance 95%

u mr

ae







# 3. Etude par classes et secteur de vent

- Les propriétés du vent (vitesse et direction) sont souvent mesurées de manières synchrones aux SPL
  - Etudier les incertitudes par classes de vitesse de vent et par secteur de direction vent
  - Représentation des résultats en dBA pour 3 classes et 3 secteurs de vent

de



30;60°

0;30°

 $330^{\circ}$ 

 $300^{\circ}$ 

puissance nominale

10

11

12

13

---->

60;90°

105 dB(A)

dB(A)

8

9

3. Résultats : classes et secteurs de vent





## Perspectives

### Éolienne isolée >> parc éolien

- Améliorer la représentativité des simulations
- Prendre compte les effets 3D

### Effet de sillage sur les profils météorologiques

- Profils qui dépendent de la distance

### Améliorer la prise en compte de la turbulence

- Etendre l'analyse à des conditions défavorables à la propagation et en zone interférentielle

### Utilisation de « super-calculateurs »

- Augmenter le nombre de simulations / calculs avec turbulence

#### Développement d'outils d'ingénierie

- Evaluation des incertitudes, de risque de dépassement de niveaux sonores...





## Merci de votre attention

Bill Kayser (Cerema/UMRAE)

bill.kayser@cerema.fr http://www.umrae.fr/



L'**Unité Mixte de Recherche en** Acoustique Environnementale (UMRAE) est un laboratoire de recherche commun entre l'Université Gustave Eiffel et le Cerema,