

WP2

Objectifs, livrables et campagne expérimentale



Benoit Gauvreau (resp. WP2)
+ contributions de nombreux collègues !



PIBE project (2019-2024)

Uncertainties in numerical predictions and experimental characterization of wind farm noise

Benoit Gauvreau, Albert Alarcon², Simon Bianchetti¹, Régis Boittin³, Laurent Brendel⁴, Benjamin Cotté⁵, Vincent Gary¹, Gwenaél Guillaume⁴, Fabrice Junker⁶, Bill Kayser¹, Hubert Lefèvre⁷, Guillaume Litou³, David Mascarenhas⁵, Jean Ripolles², Isabelle Schmich-Yamane², David Écotière⁴

¹ Université Gustave Eiffel, Cerema, UMRAE, Route de Bouaye, 44344 Bouguenais, France

² EDF-DTG, 134 Chemin de l'Étang, 38950 Saint-Martin-le-Vinoux, France

³ CEREMA, 11 rue Laplace, 41000 Blois, France

⁴ Cerema, Université Gustave Eiffel, UMRAE, 11 rue Jean Mentelin, 67035 Strasbourg, France

⁵ IMSIA, ENSTA Paris, 828 boulevard des Maréchaux, 91120 Palaiseau, France

⁶ EDF-Renouvelables, 100 esplanade du général de Gaulle, 92932 Paris La Défense, France

⁷ CEREMA, 8-10, rue B. Palissy, 63017 Clermont-Ferrand Cedex 2, France



Proc. Internoise 2024 >> publication journal rang A (printemps 2025)



<https://www.anr-pibe.com>

PIBE project (2019-2024)



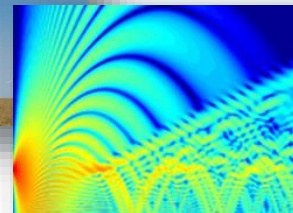
WP1 - Noise emission

- characterization of dynamic stall noise
- measurement of stall noise *in situ*
- modelling of wind turbine noise amplitude modulations



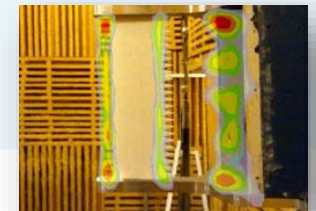
WP2 - Noise prediction

- estimation of uncertainties related to sound emission *and* sound propagation
- experimental validation of the prediction (meta)model

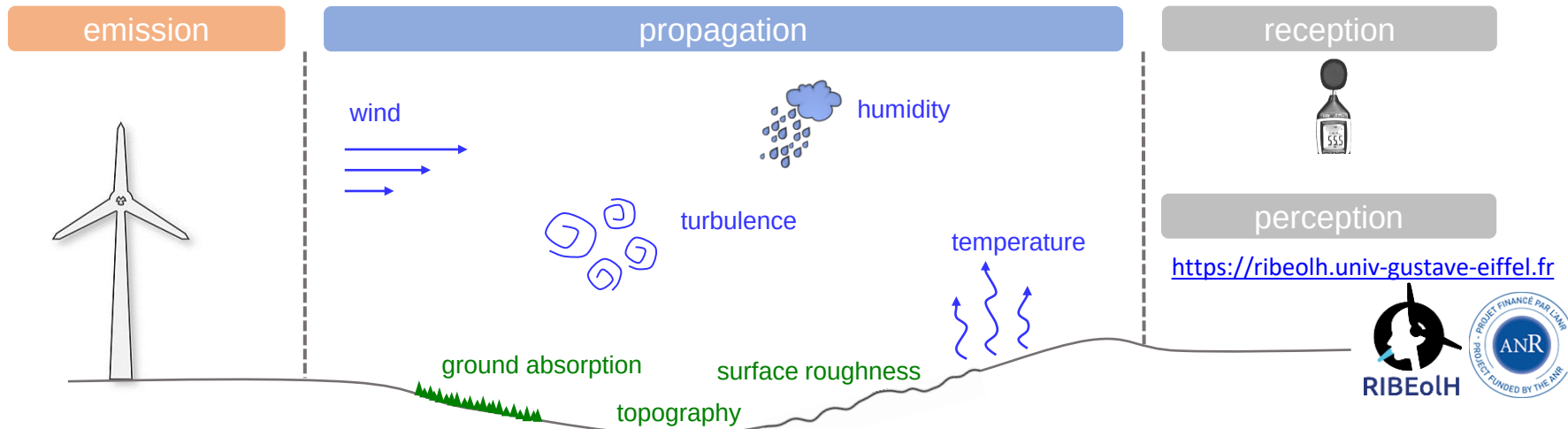


WP3 - Noise reduction

- research and design of systems that minimize the generation of aerodynamic noise at the blade level.
- wind tunnel evaluation of these different types of devices



Wind turbine noise uncertainties



Δ_{source}



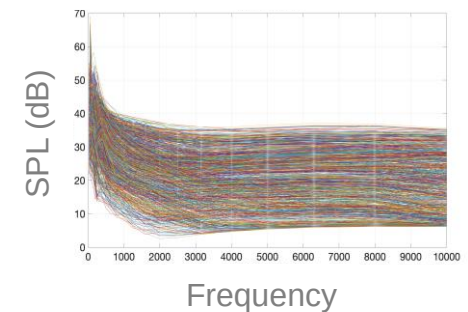
$\pm \Delta_{\text{meteo}}$



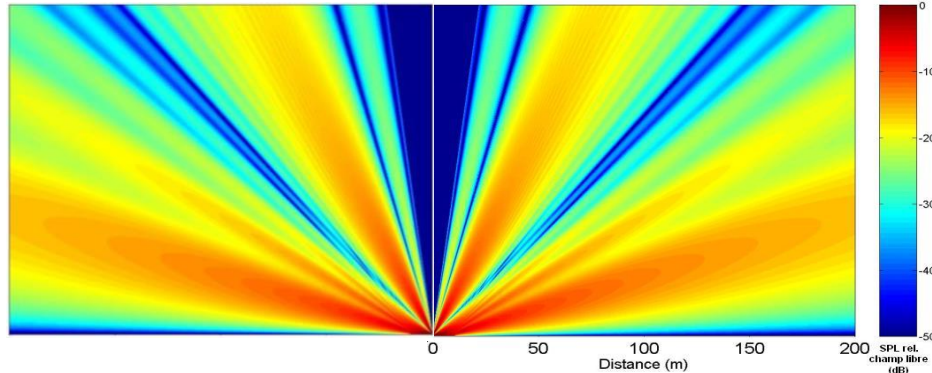
$\pm \Delta_{\text{ground}}$



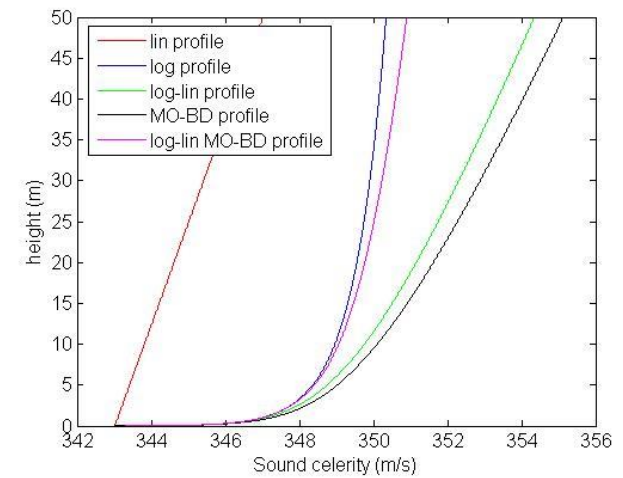
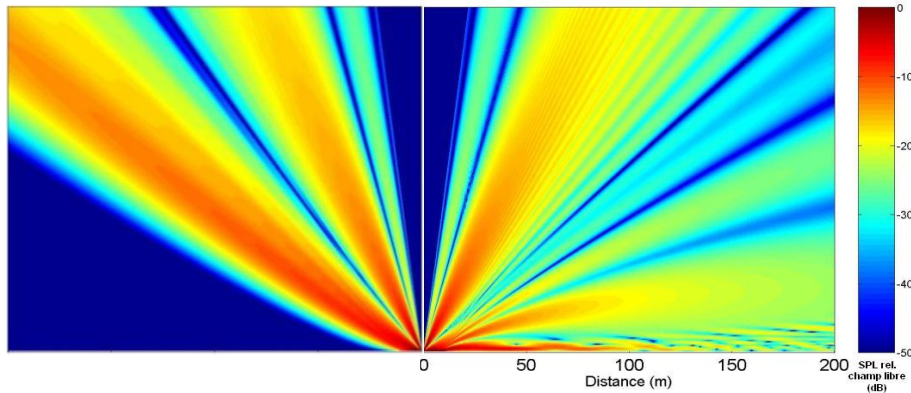
$\longrightarrow$ **SPL dispersion**



Atmosphère homogène, sans effets météo ($a = 0\text{ms}^{-1}$)



Conditions défavorables ($a = -2\text{ms}^{-1}$) Conditions favorables ($a = +2\text{ms}^{-1}$)



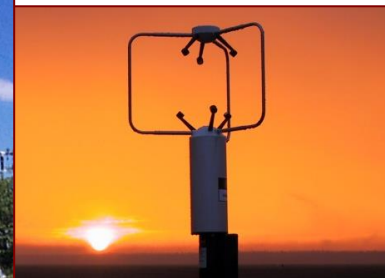
$c(z) = \sqrt{\gamma R T(z)}$ + hypothèse de la célérité effective :

$$c(z) = c_0 \sqrt{1 + \frac{T(z)}{T_0}} + W(z) \cdot \cos \theta$$

+ hypothèse profils linéaires : $\begin{cases} T(z) = aT \cdot z + T_0 \\ W(z) \end{cases}$

+ développement Taylor ordre 1 : $= aW \cdot z + W_0$

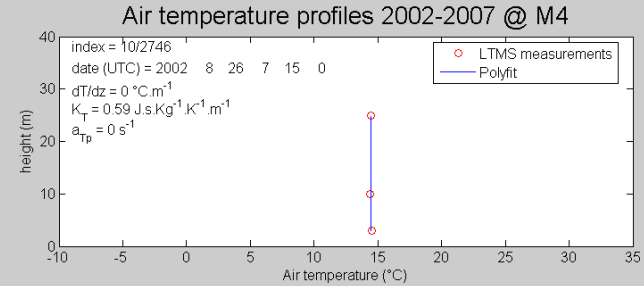
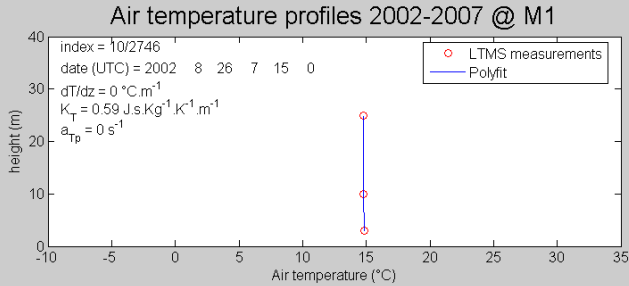
$$\frac{\partial c(z)}{\partial z} \approx \frac{1}{2} \frac{\gamma \cdot R}{c_0} \frac{\partial T(z)}{\partial z} + \frac{\partial W(z)}{\partial z} \cos \theta$$



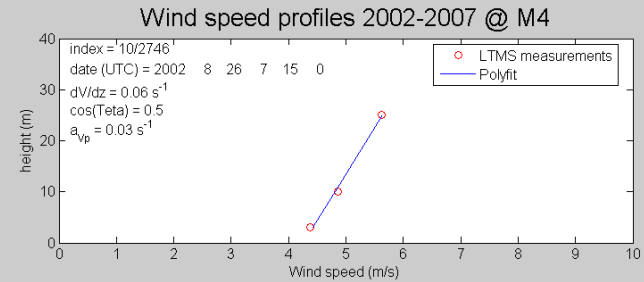
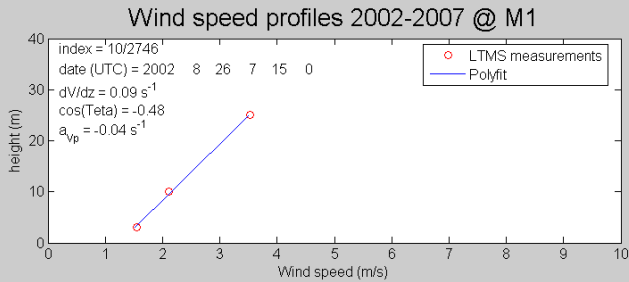
$$\frac{\partial c(z)}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\gamma \cdot R}{c_0} \frac{\partial T(z)}{\partial z} + \frac{\partial W(z)}{\partial z} \cos \theta$$

$$= aT_{\text{pondéré}} + aW_{\text{projeté}}$$

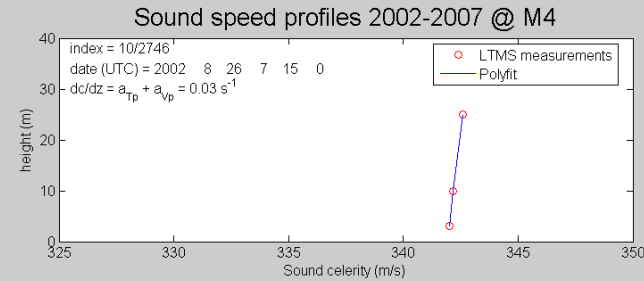
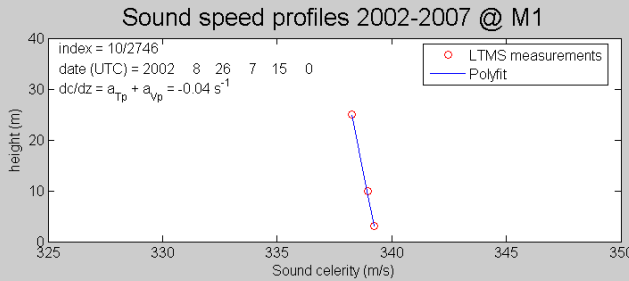
$T(z)$



$W(z)$



$c(z)$



@M1

@M4



Sommaire



- Introduction

- **NUM: WTN modelling**

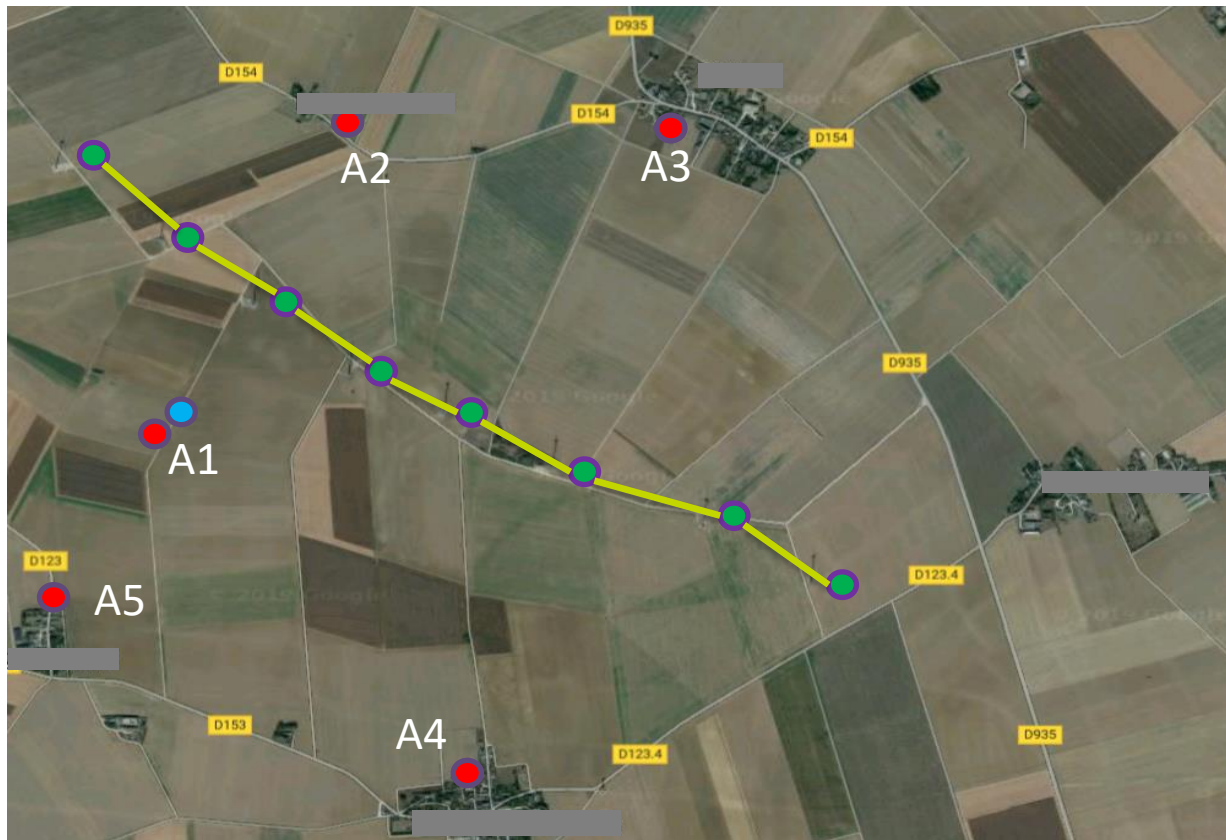
- Emission+propagation (cf. présentation B. Cotté)
- PE model >> metamodel (cf. présentation B. Kayser)
- WindTUNE tool (cf. présentation B. Kayser)
- Code_Tympan // OCP (cf. présentation J. Ripolles)

- **EXP: WTN monitoring**

- Campagne expérimentale de référence
- Exemple de résultats de mesures *in situ* en conditions Upwind // Downwind
- Synthèse, livrables et perspectives

PIBE / WP2 / EXP / LD / ACOUSTIQUE

- Points de mesures acoustiques « longue durée » A1 -> A5
- Point A1 sur mât météo, les autres points chez des riverains
- >400j de mesures



Distances micros / parc

- A1 ~ 325m
- A2 ~ 650m
- A3 ~ 1250m
- A4 ~ 1000m
- A5 ~ 1400m

+ LD / données Flight Radar

+ LD / données production (SCADA)

+ LD / données audio (proche ligne SNCF)

PIBE / WP2 / EXP / LD / ACOUSTIQUE

Mesures acoustiques LD

- Prestataire ACOUSTB
- Installation sonomètres A2 -> A5 en janvier 2020
- Début prévu initialement en mars 2020 → décalé en juin pour COVID-19

Enregistrements

- LAeq et LZeq 100ms
- Spectre 1/3 octave 20-20kHz 100ms
- Météo DV, VV, Humidité + température :1min
- Audio 2min / 10min (24bits + ech. 48kHz)
- Spectre 1/3 octave 1 min
- Fractiles (LA10,LA50,LA90)

Data

- Sonométrie + audio
- Volumétrie finale ~ 7To

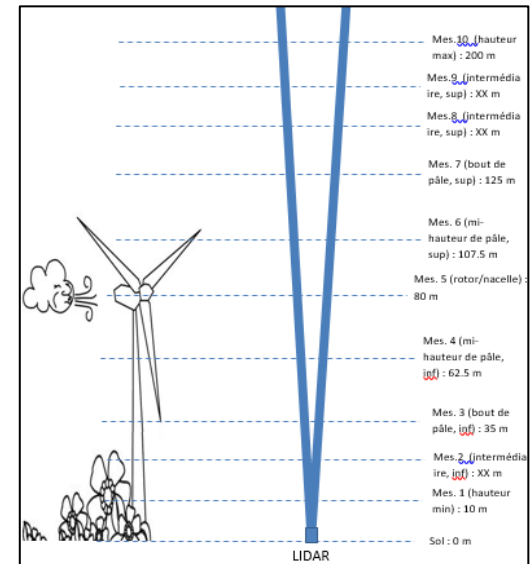
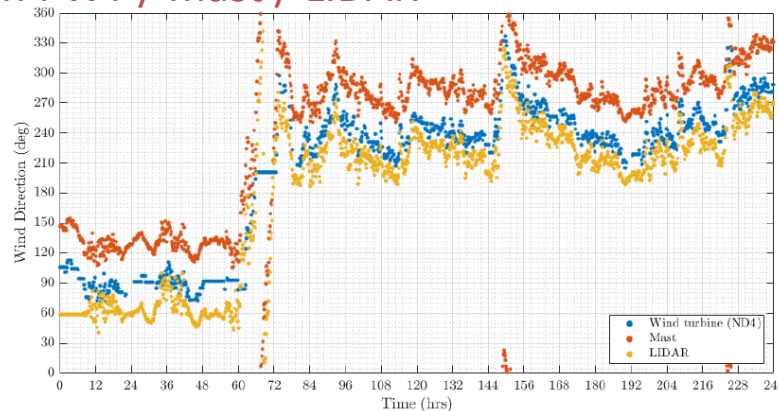


LD / Mesures LIDAR

- Achat d'un Lidar sur budget PIBE janvier 2020
- Marque ZephIR, modèle ZX300
- Posé à côté du mât en mars 2020



- Traitement : reconstitution échantillons 10min
- Output : profils verticaux de vent moyen (~200m)
- Comparaison : WT / mast / LIDAR

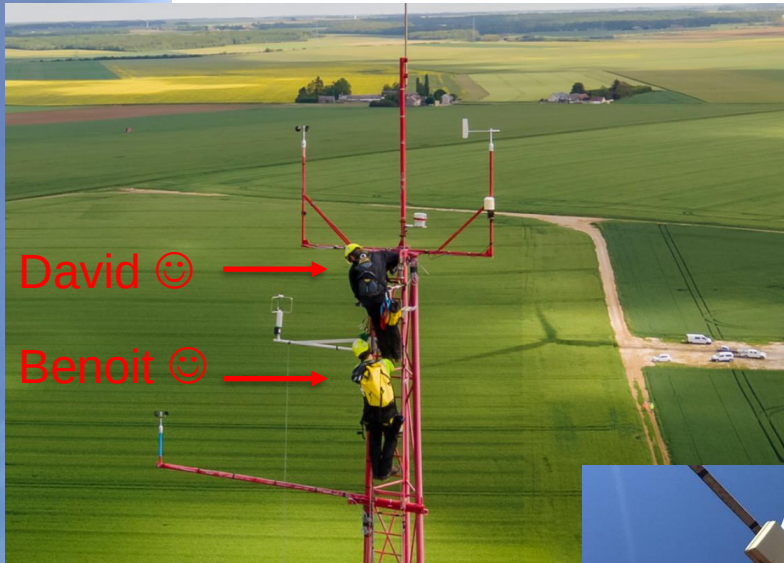


PIBE / WP2 / EXP / LD / MAT

LD / mesures météo (installations sur mât du site)

- Prévues initialement en mars 2020 → décalé en juin 2020 pour COVID-19

- Capteurs pré-existants sur le site :
 - Température: 6m, 78m
 - Vitesse: 75m, 80m
 - Direction: 70m, 80m
 - Pluvio: 5m
- Sur crédits PIBE :
 - 2 Température: ~ 20m, ~50m
 - 3 Sonics: 10m, 50m, 80m
 - Caméra ~ 20m



- Capteurs mât : traitement, validation échantillons 10min
- Données des 3 sonics : traitement, calculs stats (20Hz >> 10min)

PIBE / WP2 / EXP / POI#1 & POI #2



2x 1 semaine (été+hiver)

- +2 Mesures IEC



- Impédance de sol



- + 12 points acoustiques

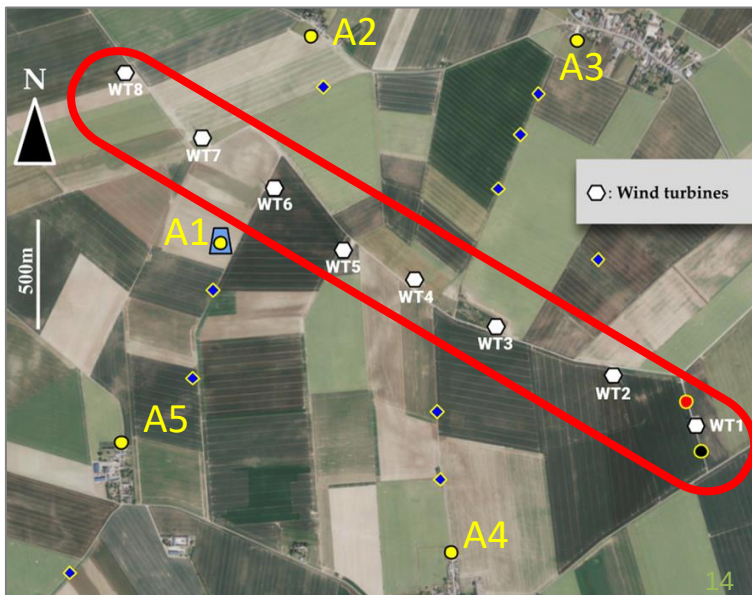
- +2 points météo (sonic)

- POI#1 : + 2^{ème} Lidar

Synthesis : EXP data from PIBE measurement campaign

○ Monitoring (+400 days) campaign on a wind farm (flat) site

- Acoustical measurements: raw data (Leq 100ms) + audio (WAV)
>> Leq1min & Leq10min for each 1/3 oct. >> LAeq 1min&10min
>> sound indicators e.g. Lmin, Lmax, LA10, LA90, LA50, etc.
- Synchronized measurements: equipped meteo tower (sonics, THR, WD and WS at several heights until 80m), LIDAR, impedance and IEC *in situ* measurements, prod. data (RPM), etc.



Post-processing and validation



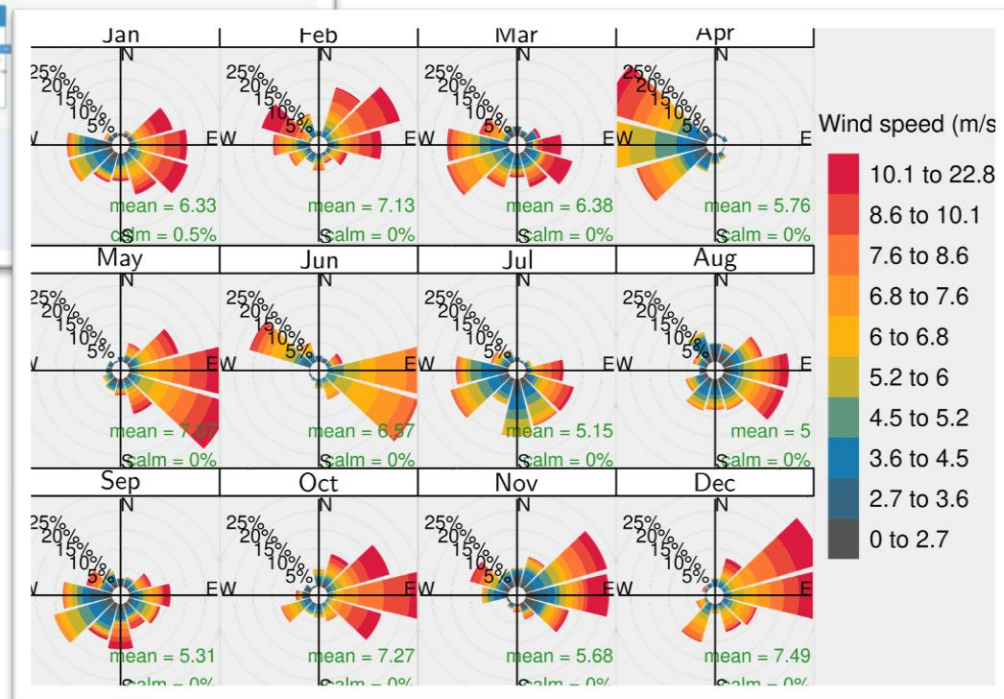
- Elasticserach (Shiny app.)
 - Data visualization
 - Detection of parasitic noise sources (trains, planes, etc.)
 - Data validation (outliers)

○ Acoustic data

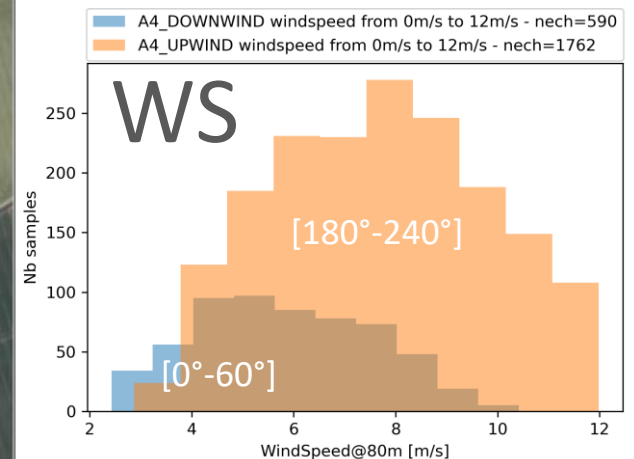
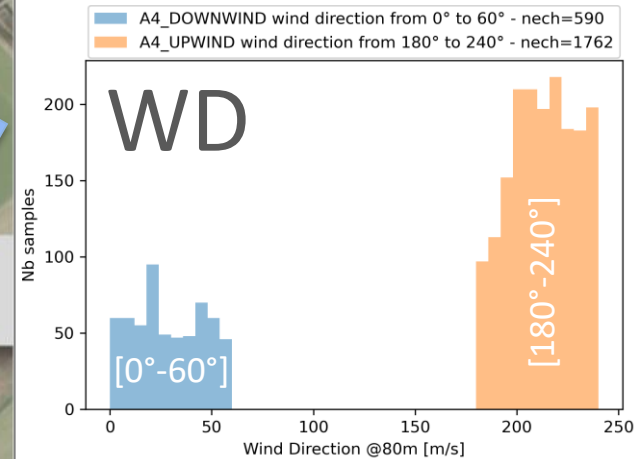
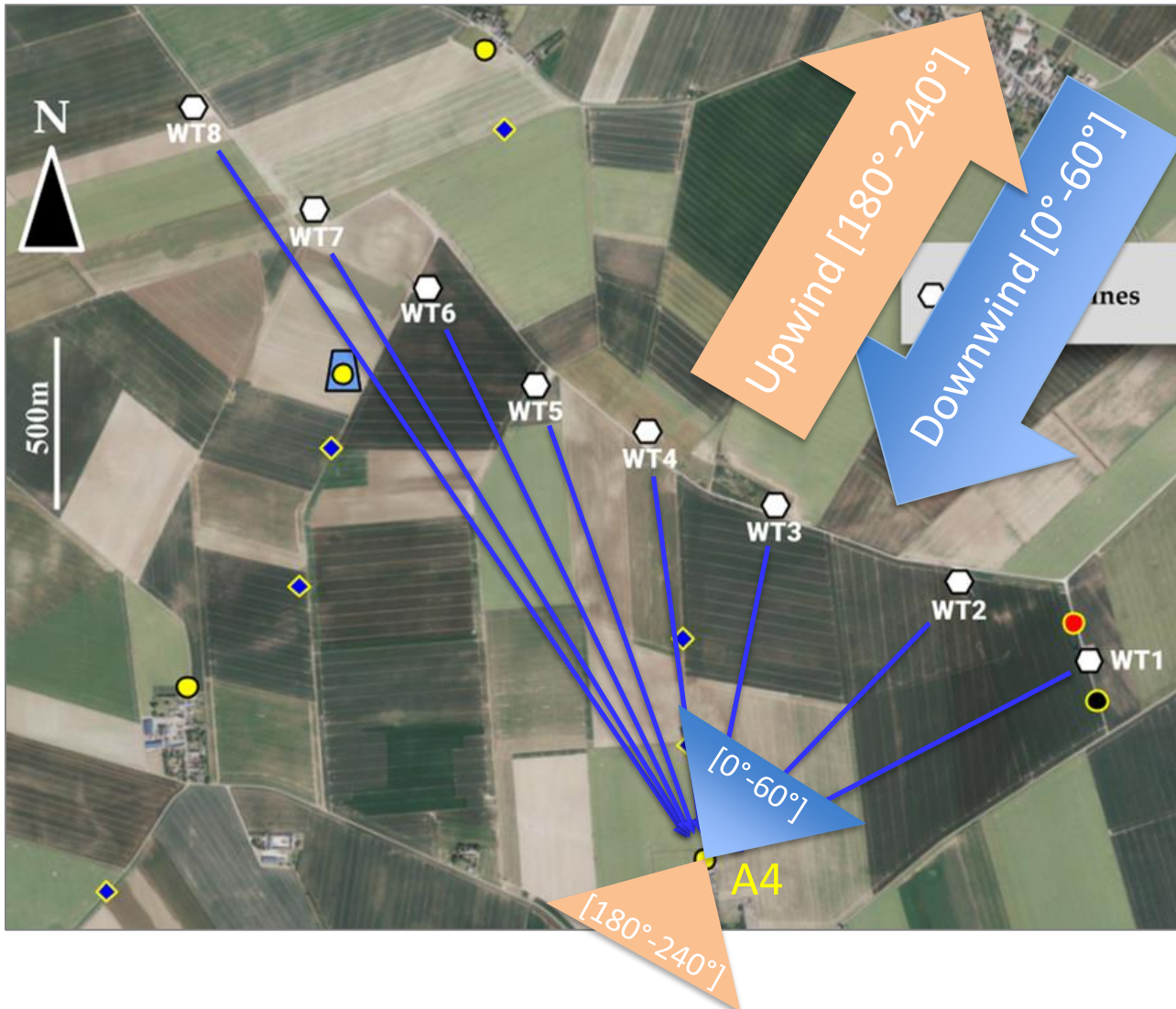
- Raw data (Leq 100ms) + audio (WAV)
- Calculated sound indicators (1min, 10min): LA50, LA10, 1/3 oct bands, etc.

○ Meteo data

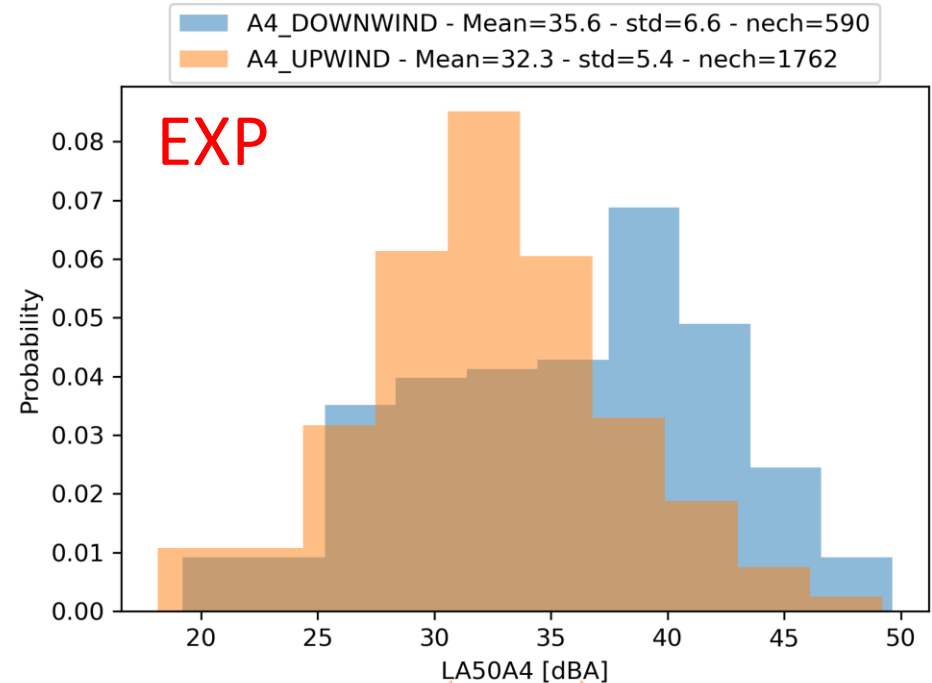
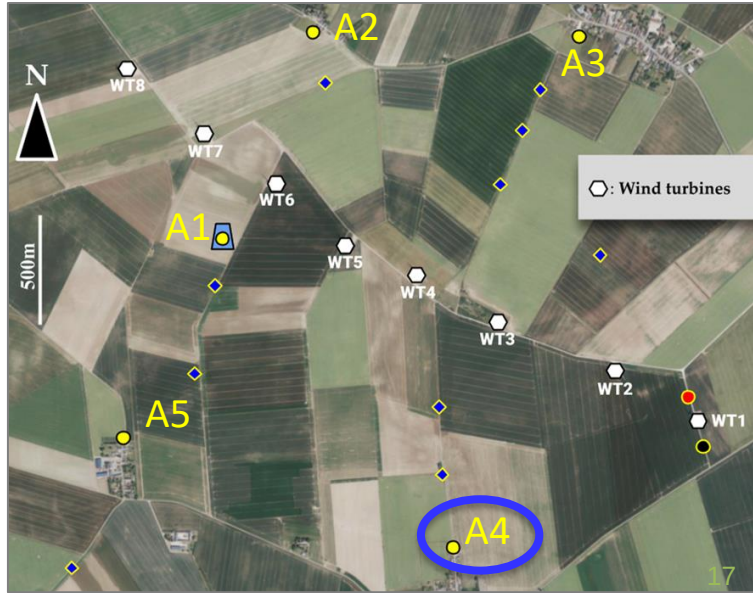
- Equipped meteo tower + LIDAR
- Additional meteo devices/sensors during 2 periods: 1 week in summer + 1 week in winter



Upwind // Downwind selection in the PIBE database (WD+WS)



EXP data from PIBE measurement campaign



Experimental dispersion

- SPL distributions (LA50)
- At 5 locations on the wind farm site (A_i , $i=1, \dots, 5$)
- Associated distributions of influent parameters (WD&WS)
- Focus on **A4** about 1 km from WT 2-3
- Atmospheric conditions: *Downwind* // *Upwind*

EXP Upwind
std=6.6dB(A)

EXP Downwind
std=5.4dB(A)

Bilan

○ **NUM: WTN modelling**

- Emission+propagation (cf. présentation B. Cotté)
- PE model >> metamodel (cf. présentation B. Kayser)
- WindTUNE (cf. présentation B. Kayser)
- Code_Tympan // OCP (cf. présentation J. Ripolles)

○ **EXP: WTN monitoring**

- Une campagne expérimentale d'envergure et de longue durée (+ 1 an !)
- Une base de données de référence (BdD « PIBE »)
 - Bientôt accessible gratuitement pour TOUS les utilisateurs (sur Zenodo + serveur Eiffel)
 - + outils pour la visualisation et l'exploitation (ElasticSearch // Shiny)
 - cf. présentation G. Guillaume (à suivre)
 - Une base de données de référence (BdD « PIBE »)
- Un outil TRES utile pour la validation des modèles numériques...
- ... à destination de différents *end-users*, de la recherche ET de l'ingénierie