



Nouveau protocole réglementaire de mesure de l'impact acoustique d'un parc éolien

Journées Techniques Acoustiques et Vibrations 2022

D. Ecotière

Unité Mixte de Recherches Cerema/UGE en Acoustique Environnementale (UMRAE)

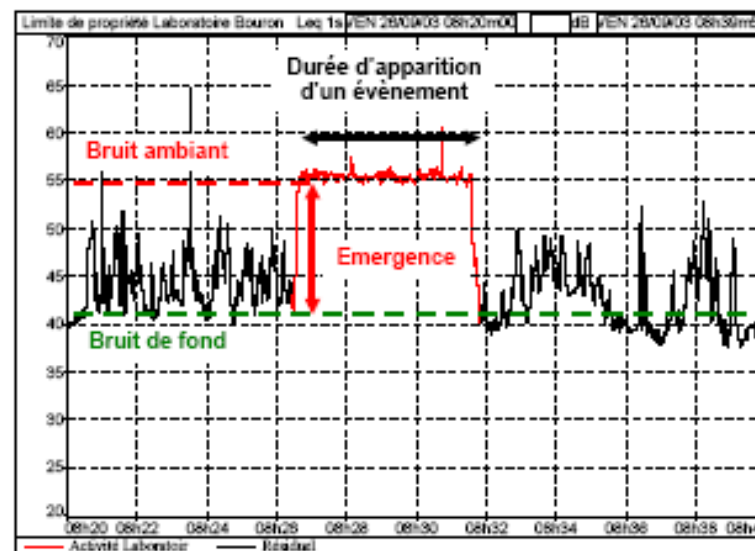


- <2021 : absence de méthode réglementaire pour l'évaluation de l'impact acoustique d'un parc éolien (adossée à une réglementation de 2011)
- **Historique des travaux**
 - Travaux normatifs AFNOR Pr S 31-114 (2004-2017)
 - 2 méthodes concurrentes
 - Absence de consensus
 - 2017 : commande DGPR au Cerema pour élaboration d'une méthode
 - 2017-2020 : rédaction de 2 méthodes concurrentes
 - 2021 : choix DGPR pour un protocole v1 + arrêté 12/2021 + v2 03/2022
 - 2022 : application expérimentale + REX fin 2022 pour v3



○ Réglementation

- Arrêté 26/08/2011 : éolienne = ICPE (section 6 : Bruit)
- Emergence max dans zones à émergence réglementées (ZER)
- Niveau limite en limite de 'domaine'
- Tonalités marquées

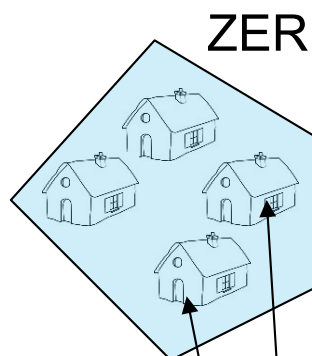


Exemple d'une mesure de bruit

○ Réglementation

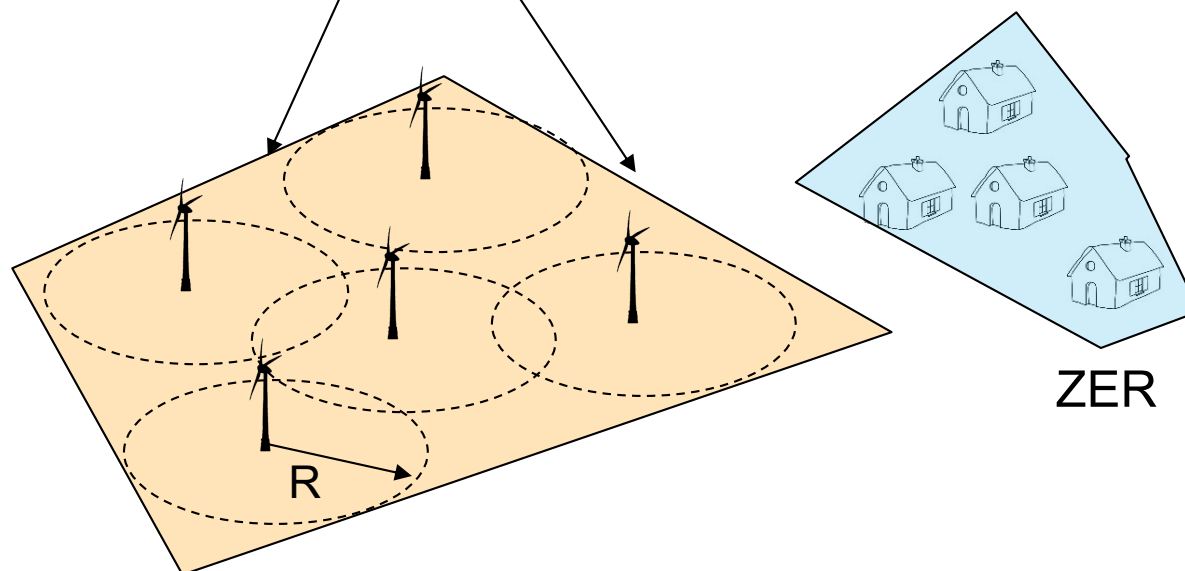
■ Seuils réglementaires

	7h-22h	22h-7h
L _{Aeq} max (dBA)	70	60



Si L_{Aeq} > 35 dBA

E _{max} (dBA)	7h-22h	22h-7h
T > 8h	5	3
4h < T < 8h	5+1	3+1
2h < T < 4h	5+2	3+2
20min < T < 2h	5+3	3+3



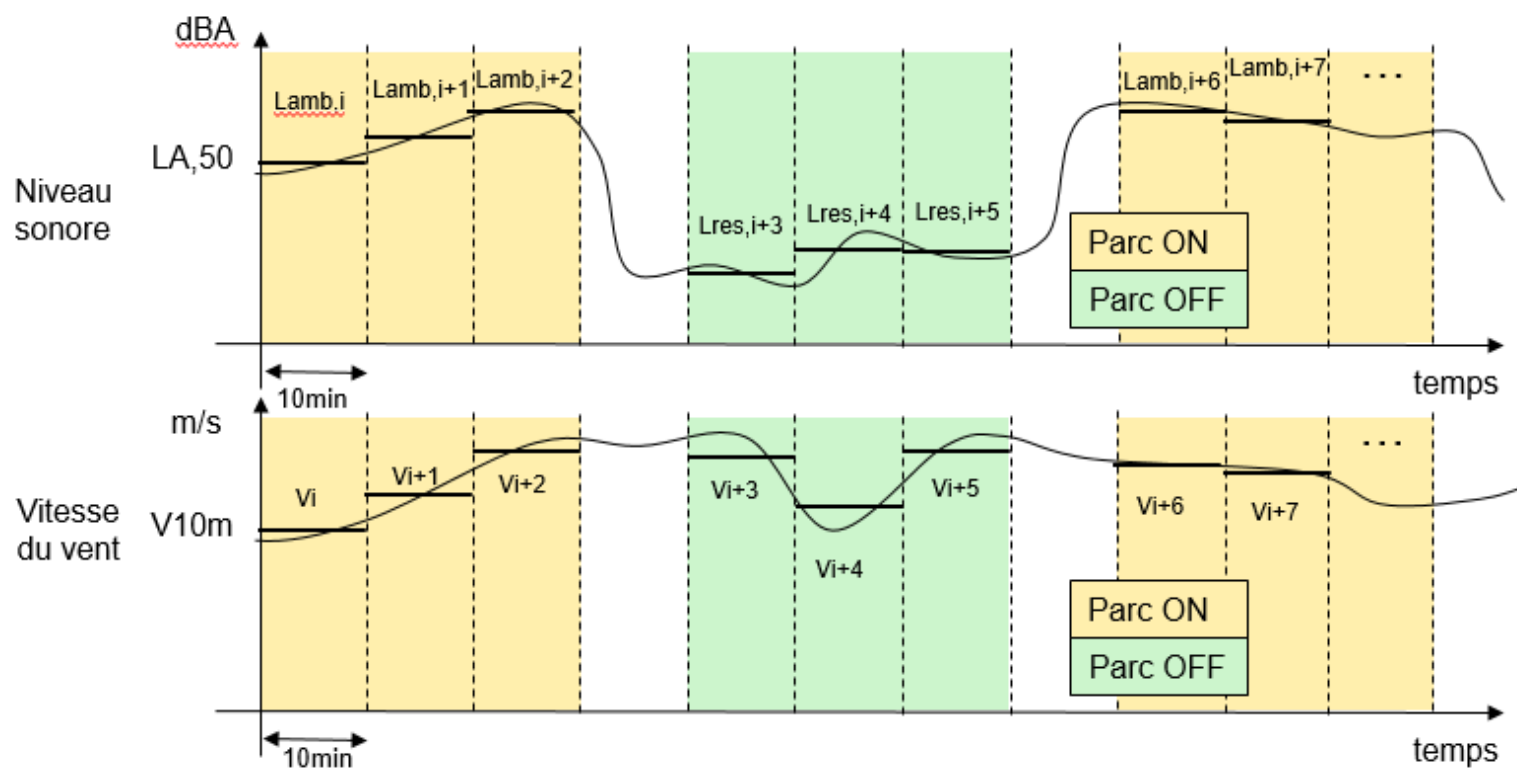
$$R = 1,2 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{longueur d'un demi-rotor})$$

Table des matières

1	Préambule	3
1.1	Objectif du protocole	3
1.2	Réglementation	3
2	Méthodologie	5
2.1	Principe général	5
2.2	Matériel de mesure	6
2.3	Mesure de la vitesse et de la direction du vent	7
2.4	Mesures acoustiques	9
2.5	Détermination des indicateurs de bruit	11
2.6	Incertitudes	16
3	Rapport de mesurage	16
3.1	Première partie - Conditions de mesurage	16
3.2	Deuxième partie - Synthèse des résultats	17
3.3	Troisième partie - Résultats détaillés	18
3.4	Quatrième partie - Conclusions	18
Annexe 1: Définitions		19
1	Eolienne et parc éolien.....	19
2	Acoustique	19
3	Aéraulique	21
4	Situation-types	21
5	Autre(s) définition(s)	22
Annexe 2: Bibliographie		23
Annexe 3: Calcul de la vitesse de vent standardisée		24
Annexe 4: Incertitudes		26
Annexe 5: Estimation d'une médiane		29
Annexe 6: Correction de la vitesse du vent en mode "arrêt" (méthode V2)		30
Annexe 7: Bruit du vent sur un microphone		32
Annexe 8: Notations et symboles principaux		34

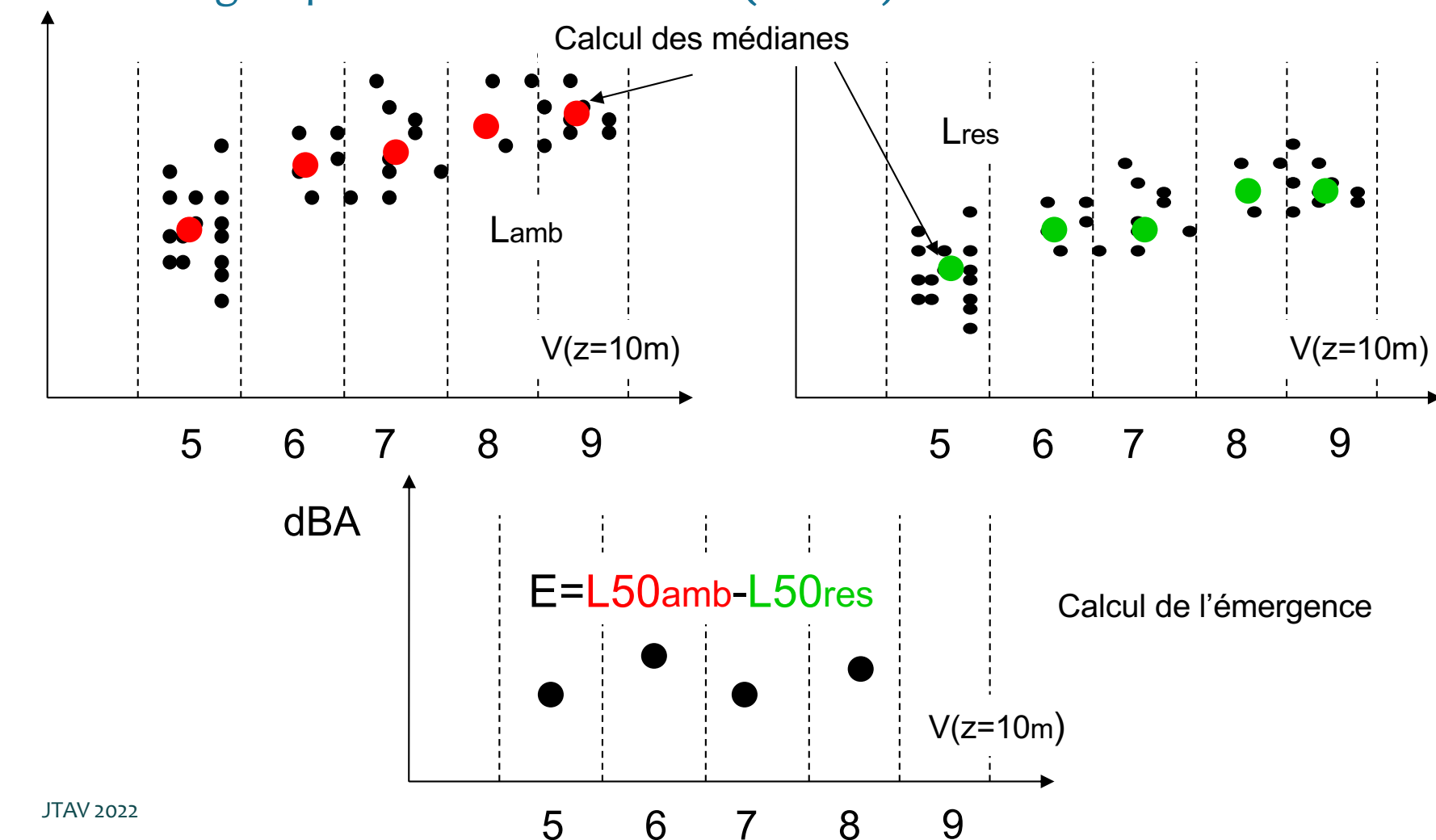
○ Principe général

- Mesures consécutives de bruit ambiant et de bruit résiduel associées à des alternances marche/arrêt du parc



○ Principe général

■ Regroupement en classe de $V(z=10m)$



○ Matériel de mesure

■ Acoustique

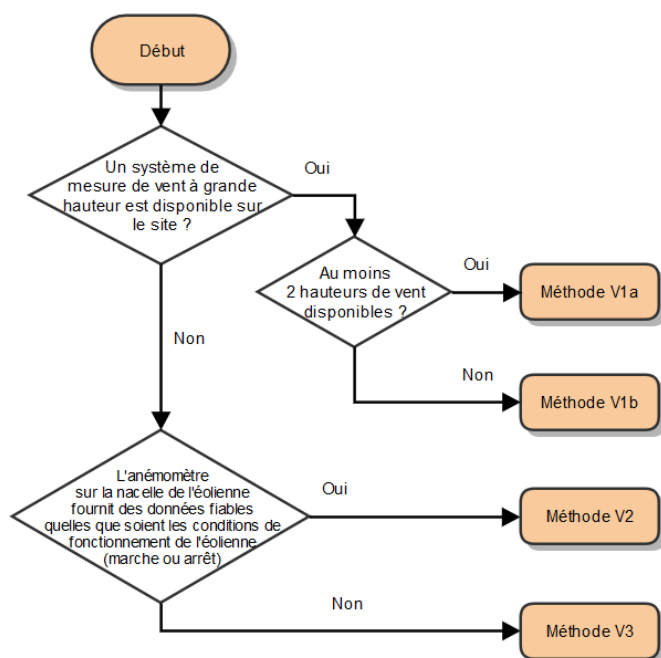
- Enregistreur classe 1 (NF EN 61672-1)
- Appareillage étalonné
- Appareillage vérifié périodiquement (2 ans si <10ans, sinon 1 an)
- Enregistrements audio recommandés
- Protection anti-vent $\text{diam} \geq 7\text{cm}$

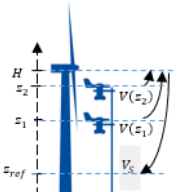
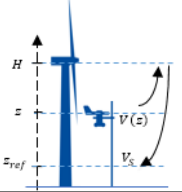
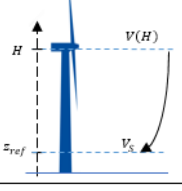
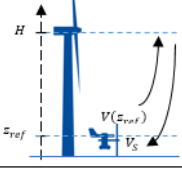
■ Météo

- Vitesse de vent : $\text{EMT} < 0,5\text{m/s}$
- Direction du vent : $\text{EMT} < 10^\circ$

○ Mesures de la vitesse et direction du vent

■ Vitesse standardisée $z=10\text{m}$: 4 méthodes



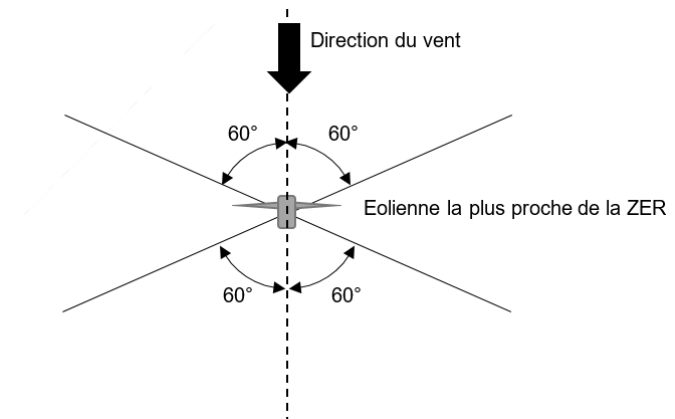
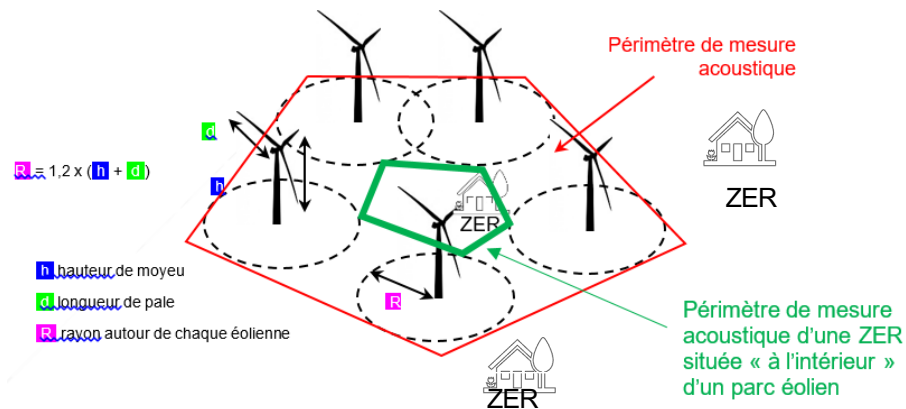
Méthode	Schéma de principe	Vitesse standardisée V_s	z_0
V1a		$V_s = \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)} \left(V(z_1) + (V(z_2) - V(z_1)) \frac{\ln\left(\frac{H}{z_1}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \right)$	-
V1b		$V_s = V(z) \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right) \ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$	cf. Tableau 2
V2		$V_s = V(H) \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)}$	
V3		$V_s = V(z = 10\text{m}) \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)}$	cf. Tableau 2

Type de terrain	Longueur de rugosité z_0	Incertitude-type u_{z_0}
Terrains agricoles avec quelques bâtiments et des haies de 8 m de hauteur distantes de plus de 1 km	0,05 m	0,075 m
Terrains agricoles avec quelques bâtiments et des haies de 8 m de hauteur distantes d'environ 500 m	0,1 m	0,075 m
Terrains agricoles avec de nombreux bâtiments, des buissons et des plantes ou des haies de 8 m de hauteur distantes d'environ 250 m	0,2 m	0,15 m
Villages, petites villes, terrains agricoles avec de nombreuses haies ou de hauts arbres, forêts, terrains très accidentés	0,4 m	0,3 m

○ Mesures acoustiques

■ Niveaux maximums :

- En limite de parc, $h=1.5\text{m}$, durée $\geq 1\text{h}$
- Pendant périodes menant à des niveaux les plus forts
- Face à ZER la plus proche, dans secteur $\pm 60^\circ$ dir vent

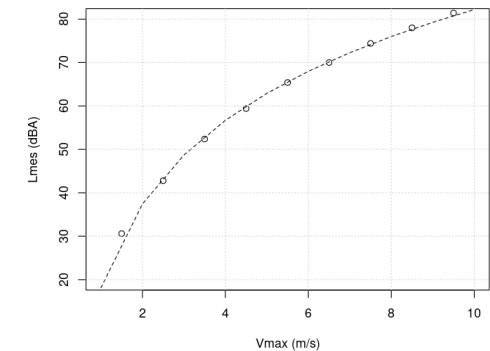
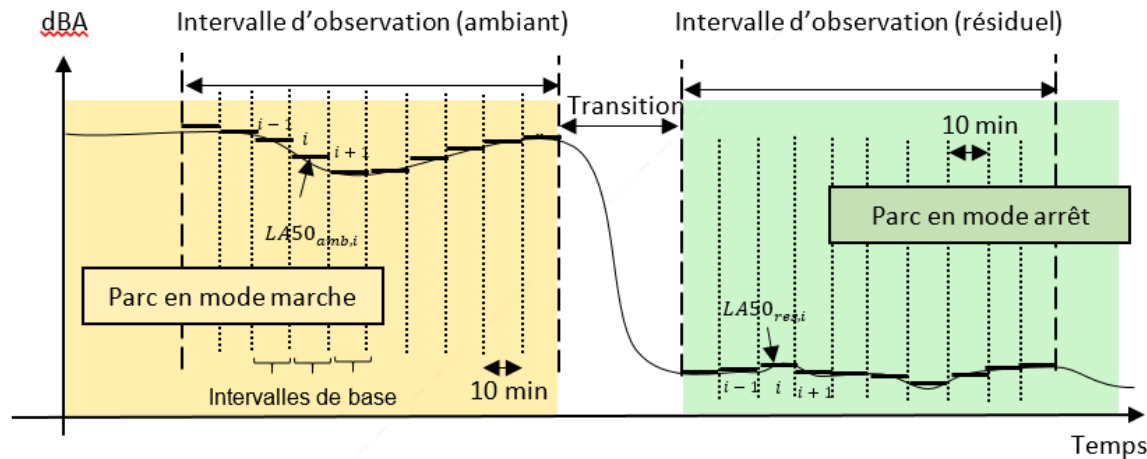
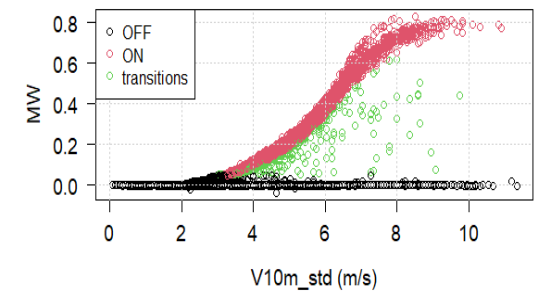


■ Emergences :

- dans ZER
- $h=1,5\text{m}$, 2m en avant façade, ou en champ libre si émergence jugée plus forte

○ Processus

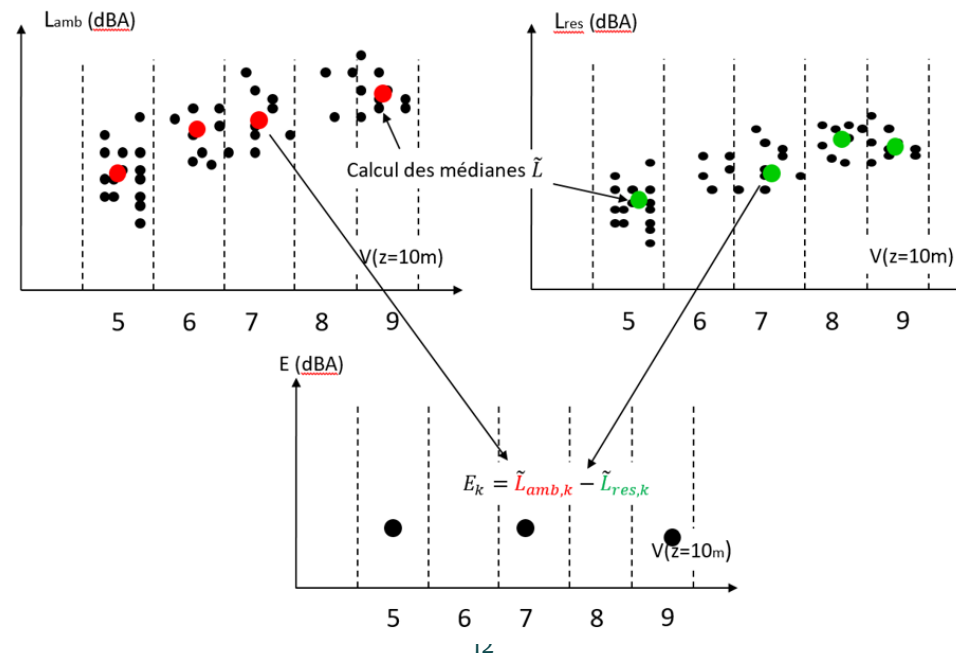
- Pour chaque intervalle de base i :
 - Estimation des niveaux sonores amb ou res : $LA_{50,i}(10min)$
 - Traitements des données, validation
 - * Evènements perturbateurs
 - * Fonctionnement du parc (OFF= $<50kW$, ON= $>90\% P_{nom}$)
 - * Bruit du vent sur microphone : $V_{max} = a \exp(b.L_{mes})$



- Estimation des vitesses de vent : $V_i(10min)$

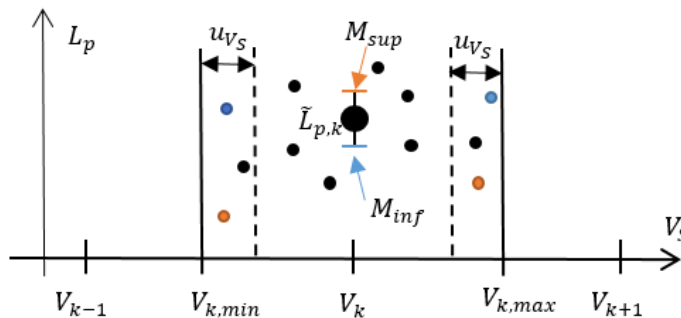
○ Processus

- Pour chaque ‘situation-type’ :
 - Regroupement en classes de vitesse de vent (≥ 10 échantillons)
 - Pour chaque classe k, calcul de
 - * médiane des niveaux sonores : $\tilde{L}_{amb,k}$, $\tilde{L}_{res,k}$
 - * indicateur d’émergence de chaque classe k : $E_k = \tilde{L}_{amb,k} - \tilde{L}_{res,k}$



○ Incertitudes

- Incertitude émergence : $u_{E,k} = \sqrt{u_{\tilde{L}_{amb,k}}^2 + u_{\tilde{L}_{res,k}}^2}$
- Incertitudes niveaux sonores : $u_{\tilde{L}_{p,k}} = \sqrt{u_{\tilde{L}_{p,A}}^2 + u_{\tilde{L}_{p,B}}^2}$
 - Postes d'incertitudes type A :
 - * Calcul de la médiane
 - * Erreur de classification en fonction de la vitesse du vent



Méthode	Calcul de l'incertitude-type u_{V_S}	u_V	u_{z_0}
V1a	$u_{V_S} = \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)} \sqrt{1 - 2 \frac{\ln\left(\frac{H}{z_1}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} + 2 \left(\frac{\ln\left(\frac{H}{z_1}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}\right)^2} \cdot u_V$	0.28 m/s	-
V1b	$u_{V_S}^2 = c_V^2 \cdot u_V^2 + c_{z_0}^2 \cdot u_{z_0}^2$ avec $c_V = \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)} \cdot \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ et $c_{z_0} = \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)} \cdot \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right) - \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln^2\left(\frac{z}{z_0}\right)} \cdot \frac{V(z)}{z_0}$	0.28 m/s	Annexe 3 (Tableau 2)
V2	$u_{V_S} = \frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{0,ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)} \cdot u_V$	$u_{V_{nacelle}}$	-
V3	$u_{V_S}^2 = c_V^2 \cdot u_V^2 + c_{z_0}^2 \cdot u_{z_0}^2$ avec $c_V = \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$ et $c_{z_0} = -\frac{V(z_{ref})}{z_0 \cdot \ln\left(\frac{H}{z_{0,ref}}\right)}$	0.28 m/s	Annexe 3 (Tableau 2)

○ Incertitudes

• Postes d'incertitudes type B :

* Bruit du vent sur protection anti-vent

* Instrumentation

Hauteur du microphone	V_{max} (m/s)	b_{vent} (dBA)	u_{vent} (dBA)
1,5m +/- 0,3m	$V_{max} = 0,52 \exp(0,036 \cdot L_{mes})$	0.1	0.20
	$V_{max} = 0,58 \exp(0,036 \cdot L_{mes})$	0.2	0.20
	$V_{max} = 0,61 \exp(0,036 \cdot L_{mes})$	0.3	0.20
4,5m +/- 0,3m	$V_{max} = 0,57 \exp(0,038 \cdot L_{mes})$	0.1	0.20
	$V_{max} = 0,63 \exp(0,038 \cdot L_{mes})$	0.2	0.20
	$V_{max} = 0,67 \exp(0,038 \cdot L_{mes})$	0.3	0.20

$u_{Lp,n,B}$	Facteur d'influence	Incertitude-type	Condition
$u_{Lp,1,B}$	Calibrage	0,25 dB	
$u_{Lp,2,B}$	Directivité	0 dB si $f < 250$ Hz 0,43 dB si $250 \text{ Hz} < f < 1 \text{ kHz}$ 0,58 dB si $1 \text{ kHz} < f < 2 \text{ kHz}$ 1,15 dB si $2 \text{ kHz} < f < 4 \text{ kHz}$ 2,02 dB si $4 \text{ kHz} < f < 8 \text{ kHz}$	Direction de référence du microphone : axe vertical
$u_{Lp,3,B}$	Linéarité en fréquence et pondération fréquentielle	0,58 dB	$50 \text{ Hz} < f < 5 \text{ kHz}$
$u_{Lp,4,B}$	Température de l'air	0,28 dB	$-10 \text{ °C} < T^{\circ} < +50 \text{ °C}$
$u_{Lp,5,B}$	Humidité de l'air	0,28 dB	$25\% < \text{hum} < 90\%$
$u_{Lp,6,B}$	Pression statique de l'air	0,23 dB	$850 \text{ hPa} < P < 1\ 080 \text{ hPa}$
$u_{Lp,7,B}$	Linéarité de niveau	0,46 dB	
$u_{Lp,8,B}$	Ecran anti-vent	0,28 dB	$63 \text{ Hz} < f < 2 \text{ kHz}$
Incertitude-type composée :		$u_{Lp,B} = 1,1 \text{ dBA}$	$63 \text{ Hz} < f < 2 \text{ kHz}$ Direction de référence du microphone : axe vertical $-10 \text{ °C} < T^{\circ} < +50 \text{ °C}$ $25\% < \text{hum} < 90\%$ $850 \text{ hPa} < P < 1\ 080 \text{ hPa}$

- Protocole application obligatoire depuis 12/2021, en application expérimentale en 2022 avec REX fin 2022
- Méthode harmonisée en application de la réglementation existante (disponible sur le site du MTE : <https://is.gd/JOZiPa>)
- Points notables :
 - Exigences sur le matériel
 - Méthodes de mesure du vent
 - Prise en compte du bruit du vent
 - Critères de fonctionnement du parc
 - Cadre de définition de situation-types
 - Prise en compte des incertitudes



© S. Bianchetti

Merci pour votre attention !

- Contact :
 - David.ecotiere@cerema.fr



www.umrae.fr



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