

ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



ETUDES ET CONTRÔLES D'IMPACT DE PARCS EOLIENS : INTERET DE LA REFERENCE METEOROLOGIQUE A 10M

Frédéric DELAFOSSE – Directeur technique
frederic.delafosse@acouphen-environnement.com



WWW.ACOUPHEN-ENVIRONNEMENT.COM

**Un bureau d'ingénierie en management de l'environnement
sonore certifié**



**Expert en éolien depuis 2000
Wind Turbine Noise – AFNOR – ADEME – BCEE France/Allemagne**

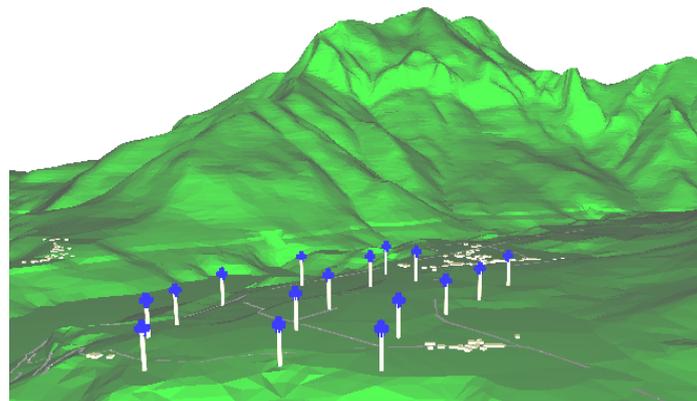
ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



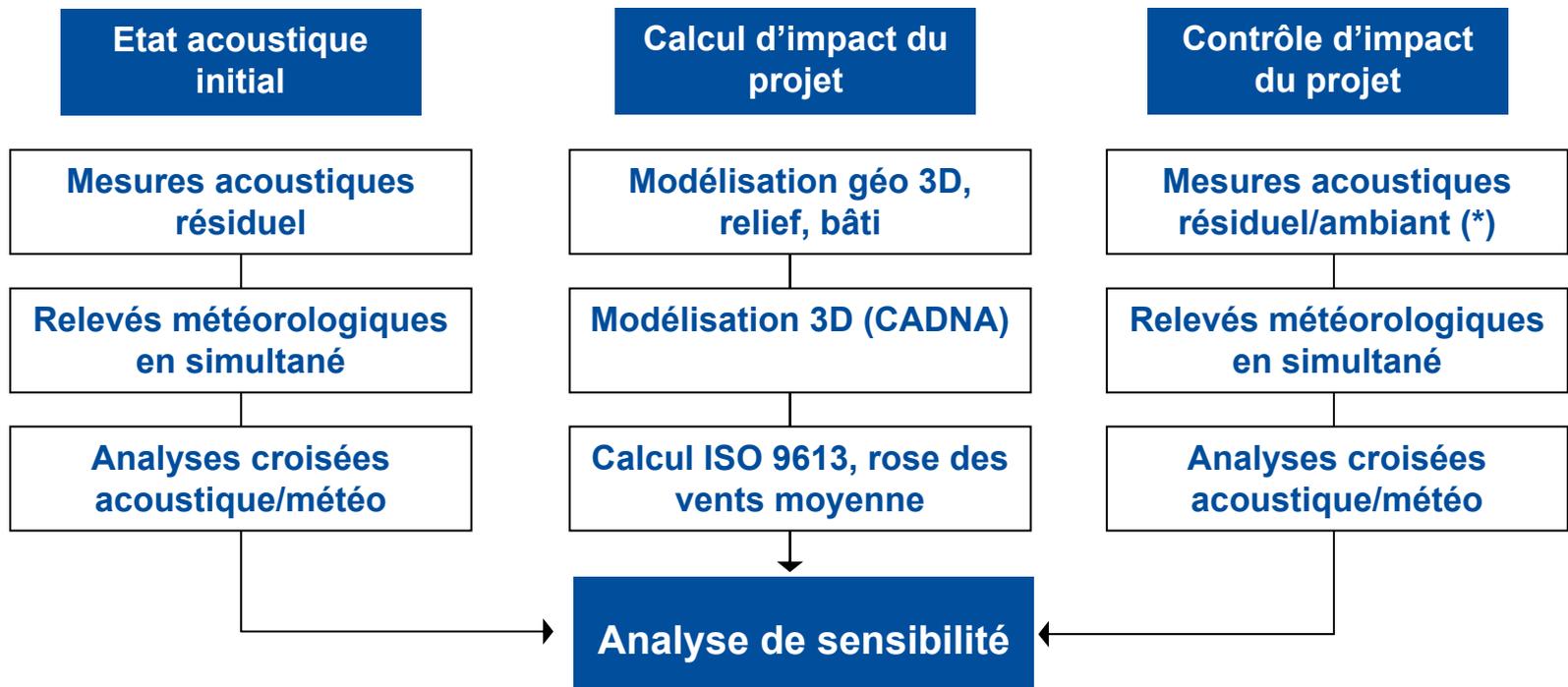
SOMMAIRE

- 1 – CONTEXTE
- 2 – ETUDE D'IMPACT & CONTRÔLE D'IMPACT
- 3 – VITESSE DE REFERENCE V_s
- 4 – EXEMPLES
- 5 – SYNTHÈSE



- Volonté de la France de développer les énergies propres
- Nécessité de réaliser un dossier d'étude d'impact avec un volet bruit
- Contrôles d'impact à réaliser après implantation
- Réglementation acoustique spécifique « bruit de voisinage »
- Évolution normative PrS 31-114
- Disparité entre les études
- Difficulté à objectiver et à comparer

➔ Logique d'expertise et d'analyse de risque



➔ Analyse de sensibilité par exemple avec un indicateur unique I0...

(*) Marches et arrêts séquentiels nécessaires

n : classe de vent en m/s

r_n : résiduel moyen retenu pour la classe de vent n en dB(A)

c_n : contribution calculée pour la classe de vent n en dB(A)

$$e_n = 10 \log \left[10^{r_n/10} + 10^{c_n/10} \right] - r_n$$

$$D_n = \begin{cases} e_n - e_{\text{lim}} & \text{si } e_n > e_{\text{lim}} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$$I_o = 10 \log \left[\sum_{n=1}^N P_n \cdot 10^{D_n/10} \right]$$

D_n : dépassement moyen du critère d'émergence pour une classe de vitesse de vent donnée n

P_n : pourcentage d'apparition annuel de la classe de vent n

I_0 : en dB, valeur proche de 0 à rechercher, par expérience

ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

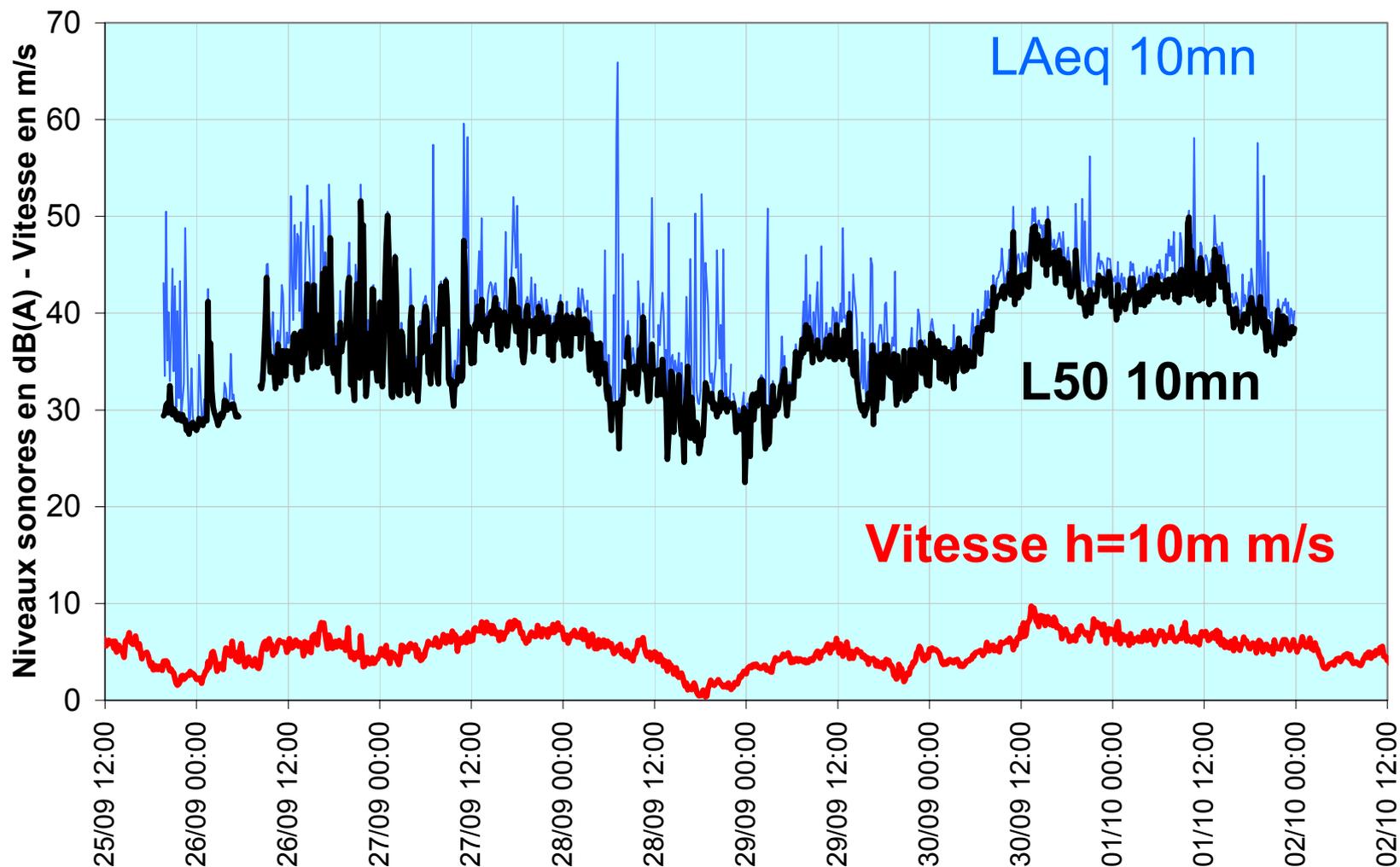
MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



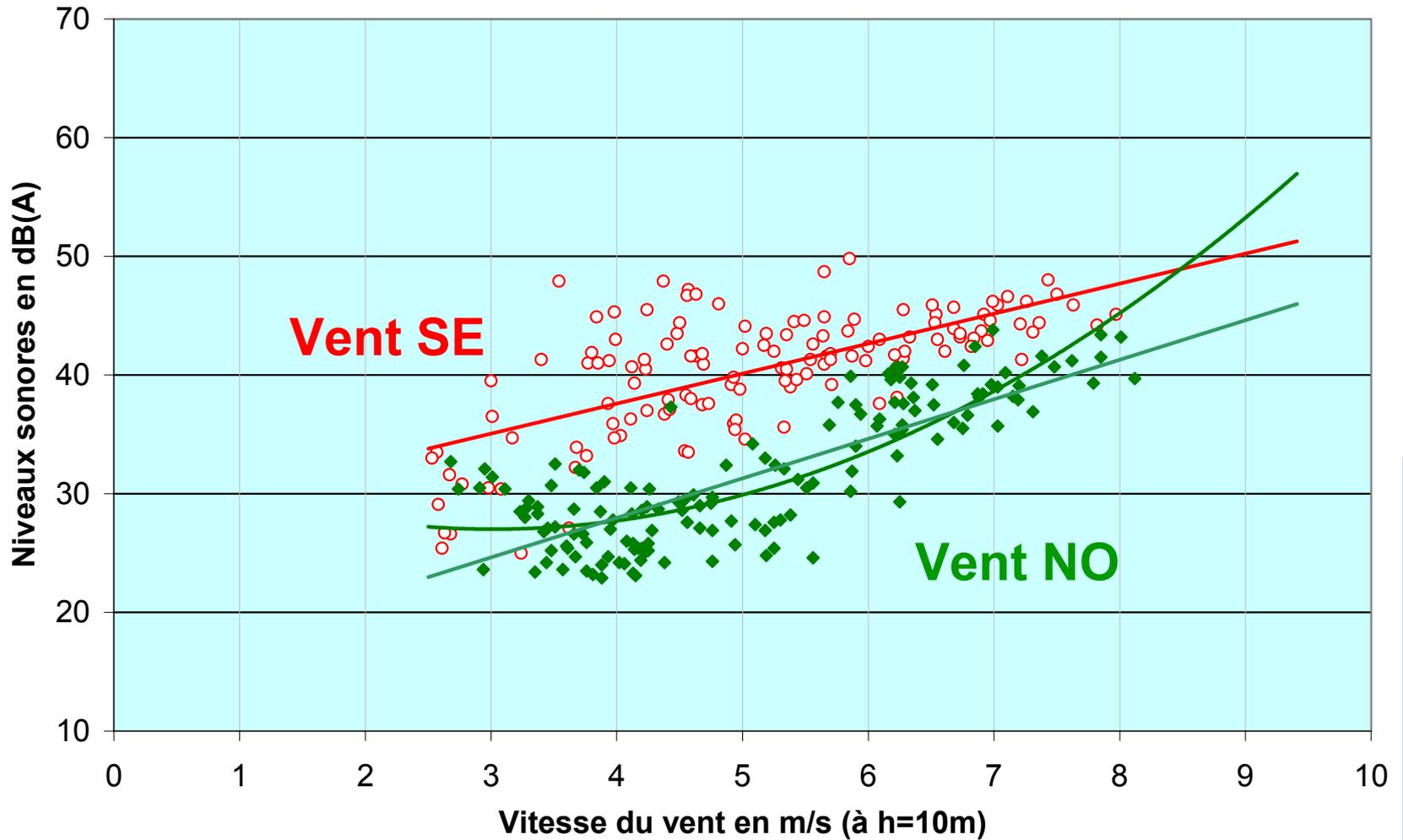
SOMMAIRE

- 1 – CONTEXTE
- 2 – ETUDE D'IMPACT & CONTRÔLE D'IMPACT
- 3 – VITESSE DE REFERENCE V_s
- 4 – EXEMPLES
- 5 – SYNTHÈSE

2.1 – Etat initial : 4-10 jours de mesures



2.2 – Etat initial : nuages de points



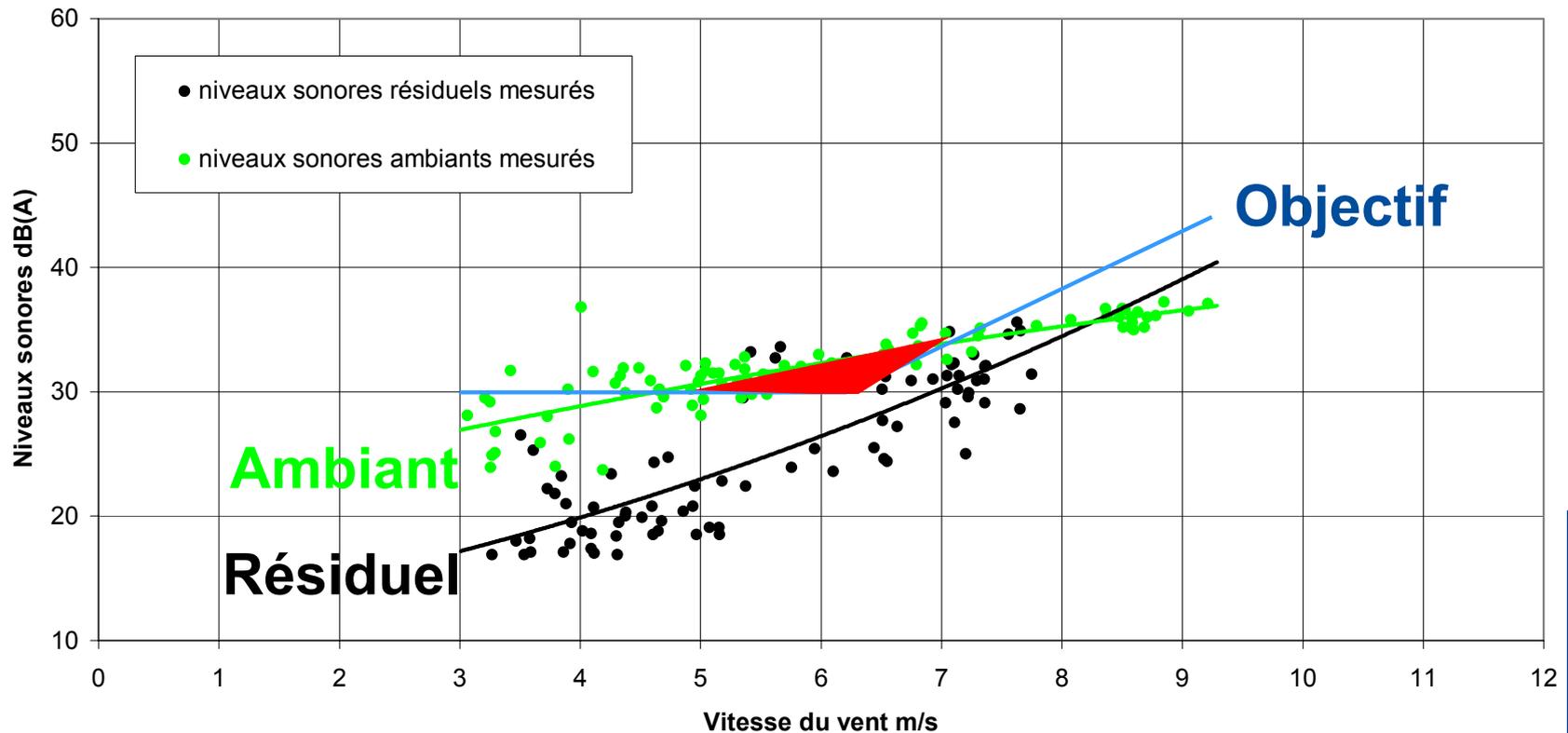
Analyse de sensibilité Nocturne - dB(A) Machine XXX - Optimisation		Vitesse du vent à h=10m									Indicateur I_0 en dB	
		<3 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s		≥10 m/s
% Rose des vents du site (Dpt)		25,0	21,7	17,5	11,1	8,4	5,9	4,1	2,3	1,3	2,6	
Niveau résiduel retenu PF1		< 33	33	35	37	39	41	43	44	45	45	
Riverain 1	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	27,4	31,1	36,0	39,1	40,0	40,0	40,0	39,9	39,9	0,0
	Niveau ambiant futur		34,1	36,5	39,5	42,0	43,5	44,8	45,4	46,2	46,2	
	Dépassement d'émergence		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Niveau résiduel retenu PF2		< 34	34	34	34	35	36	37	38	39	39	
Riverain 2	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	27,8	31,4	36,3	40,0	40,9	40,9	40,9	41,0	41,0	0,9
	Niveau ambiant futur		34,9	35,9	38,3	41,2	42,1	42,4	42,7	43,1	43,1	
	Dépassement d'émergence		0,0	0,0	1,3	3,2	3,1	2,4	1,7	1,1	1,1	
Niveau résiduel retenu PF3		< 30	30	31	32	34	37	39	41	42	42	
Riverain 3	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	27,1	30,3	34,9	38,8	39,9	40,1	40,1	40,3	40,3	0,7
	Niveau ambiant futur		31,8	33,7	36,7	40,0	41,7	42,6	43,6	44,2	44,2	
	Dépassement d'émergence		0,0	0,0	1,7	3,0	1,7	0,6	0,0	0,0	0,0	
Niveau résiduel retenu PF4		< 25	25	27	30	34	36	37	38	39	39	
Riverain 4	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	28,9	30,0	33,4	37,0	39,4	40,1	40,2	40,2	40,2	1,5
	Niveau ambiant futur		30,4	31,8	35,0	38,8	41,0	41,9	42,2	42,7	42,7	
	Dépassement d'émergence		2,4	1,8	2,0	1,8	2,0	1,9	1,2	0,7	0,7	
Riverain 4bis	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	28,7	29,8	33,1	36,5	39,0	39,8	39,9	39,7	39,7	1,4
	Niveau ambiant futur		30,2	31,6	34,8	38,4	40,7	41,6	42,0	42,4	42,4	
	Dépassement d'émergence		2,2	1,6	1,8	1,4	1,7	1,6	1,0	0,4	0,4	

Pondération des dépassements moyens constatés par vitesse de vent, par le pourcentage d'apparition de chaque classe de vent

2.4 – Analyses en fréquence

Vitesse du vent à h=10m	Bande d'octave	Niveaux sonores en dB(Lin)			Emergence admissible en dB(Lin)	Dépassement d'émergence calculée en dB(Lin)
		Résiduel à l'extérieur	Contribution de l'éolienne à l'extérieur	Ambiant à l'extérieur		
4 m/s	A	29,3	37,9	38,5 dB(A)		
	125Hz	30,0	44,6	44,7	7	7,7
	250 Hz	27,0	39,4	39,6	7	5,6
	500 Hz	27,0	36,5	37,0	5	5,0
	1 kHz	24,0	32,4	33,0	5	4,0
	2 kHz	20,0	24,6	25,9	5	0,9
	4 kHz	20,0	7,2	20,2	5	0,0
8 m/s	A	43,8	43,4	46,6 dB(A)		
	125Hz	42,0	50,1	50,7	7	1,7
	250 Hz	40,0	44,9	46,1	7	0,0
	500 Hz	41,0	42,0	44,5	5	0,0
	1 kHz	39,0	37,9	41,5	5	0,0
	2 kHz	35,0	30,1	36,2	5	0,0
	4 kHz	35,0	12,7	35,0	5	0,0
10 m/s	A	45,8	43,9	48,0 dB(A)		
	125Hz	44,0	50,6	51,5	7	0,5
	250 Hz	42,0	45,4	47,0	7	0,0
	500 Hz	43,0	42,5	45,8	5	0,0
	1 kHz	41,0	38,4	42,9	5	0,0
	2 kHz	37,0	30,6	37,9	5	0,0
	4 kHz	37,0	13,2	37,0	5	0,0

Estimation de l'émergence fréquentielle interne par calcul forfaitaire extérieur/intérieur



Dépassements ponctuels entre 5 et 7 m/s
Dans tous les cas, corrélation avec météo
H=10m, mesurée, calculée, extrapolée ?

ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



SOMMAIRE

- 1 – CONTEXTE
- 2 – ETUDE D'IMPACT & CONTRÔLE D'IMPACT
- 3 – VITESSE DE REFERENCE V_s
- 4 – EXEMPLES
- 5 – SYNTHÈSE

3 – Vitesse standardisée à h=10m : méthode 1

IEC 61400-11 : Lw machine en fonction de V_s en m/s

V_s : vitesse standardisée à 10m pour une rugosité z_0 de 0.05 m

Méthode 1 :

- Puissance électrique des machines corrélées à la vitesse au moyeu, d'où V_H
- Calcul de V_s avec :

$$V_s = V_H \cdot (10/H)^{\alpha_0}$$

$$\alpha_0 = \frac{\ln \frac{\ln(H/z_0)}{\ln(10/z_0)}}{\ln(H/10)}$$

(Pour H=75m alors $\alpha_0=0.16$)

3 – Vitesse standardisée à h=10m : méthode 2

IEC 61400-11 : Lw machine en fonction de V_s en m/s

V_s : vitesse standardisée à 10m pour une rugosité z_0 de 0.05 m

Méthode 2 :

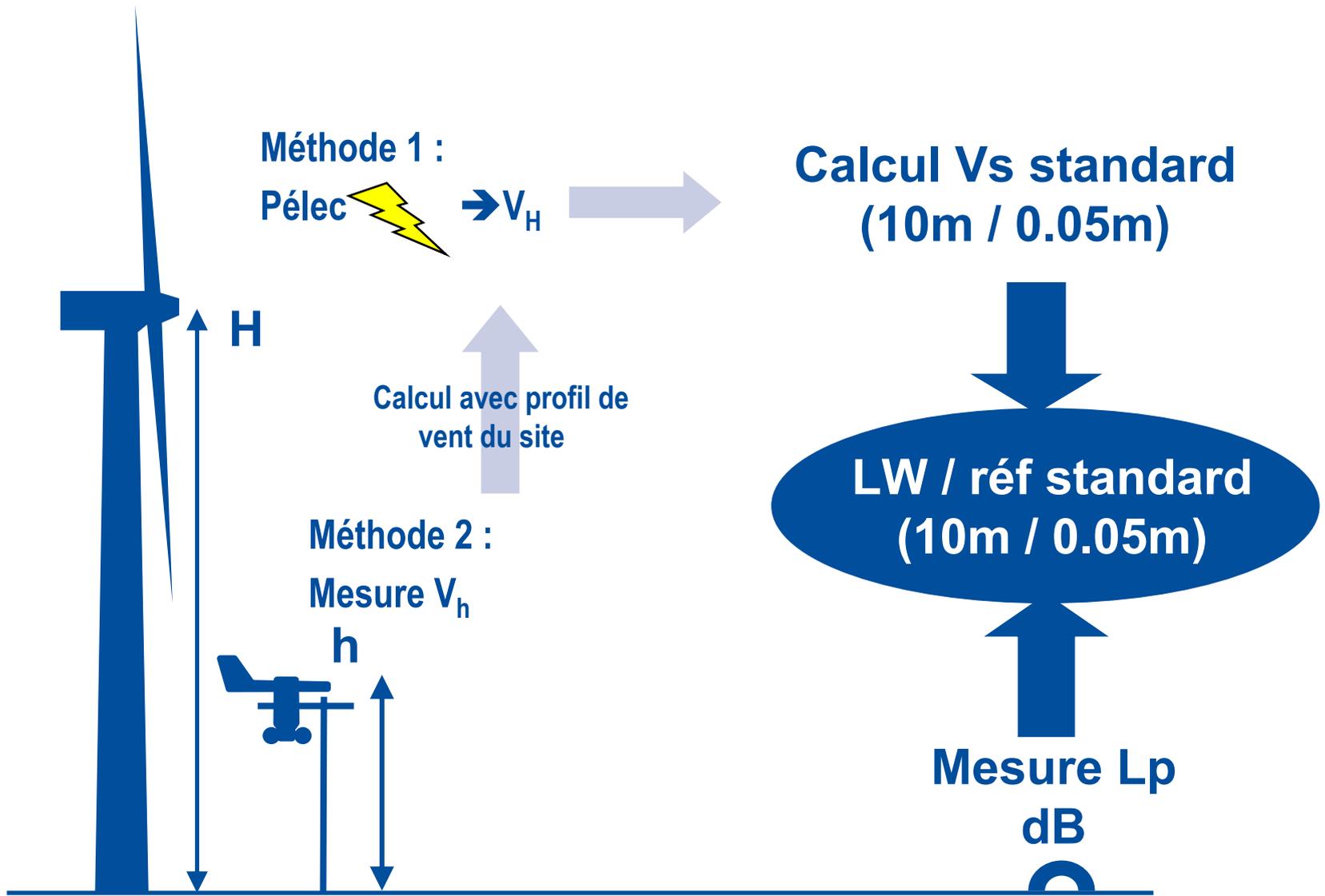
- Mesure météo effective à une hauteur h
- Calcul de la vitesse au moyeu V_H avec prise en compte du profil de vent réel du site α à mesurer à partir de 2 hauteurs...
- Calcul de V_s comme pour la méthode 1

$$V_H = V_h \cdot (H/h)^\alpha$$

$$V_s = V_H \cdot (10/H)^{\alpha_0}$$

$$\alpha_0 = \frac{\ln \frac{\ln(H/z_0)}{\ln(10/z_0)}}{\ln(H/10)}$$

3 – Vitesse standardisée à h=10m : illustrations



3 – Vitesse standardisée à h=10m : utilisation

- Niveaux de puissance acoustique par vitesses de vent, à h=10m, mais pour une rugosité (profil de vent) standard de 0.05m !
 - Etude d'impact : mesures résiduel avec météo à 10m sur site d'implantation, ne correspond pas à la vitesse standardisée à 10m car les profils de vent sont différents
-
- **Recommandations :**
 - Revenir à la vitesse au moyeu
 - Prendre en compte le profil de vent réel du site, en fonction du temps (a minima jour/nuit)

ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

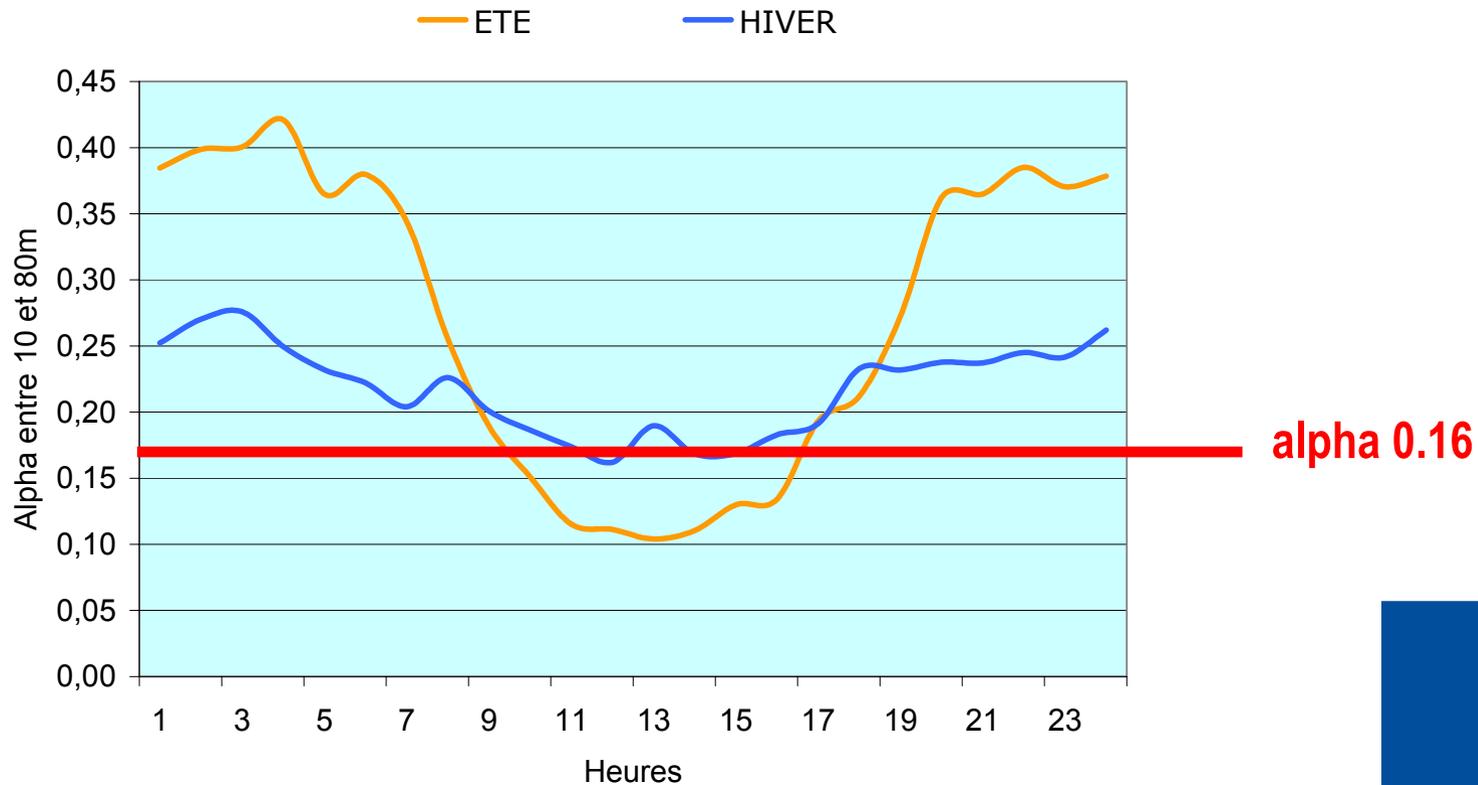
MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



SOMMAIRE

- 1 – CONTEXTE
- 2 – ETUDE D'IMPACT & CONTRÔLE D'IMPACT
- 3 – VITESSE DE REFERENCE V_s
- 4 – EXEMPLES
- 5 – SYNTHÈSE

4 – Exemples de variations de alpha



Hiver : 0.20 à 0.25

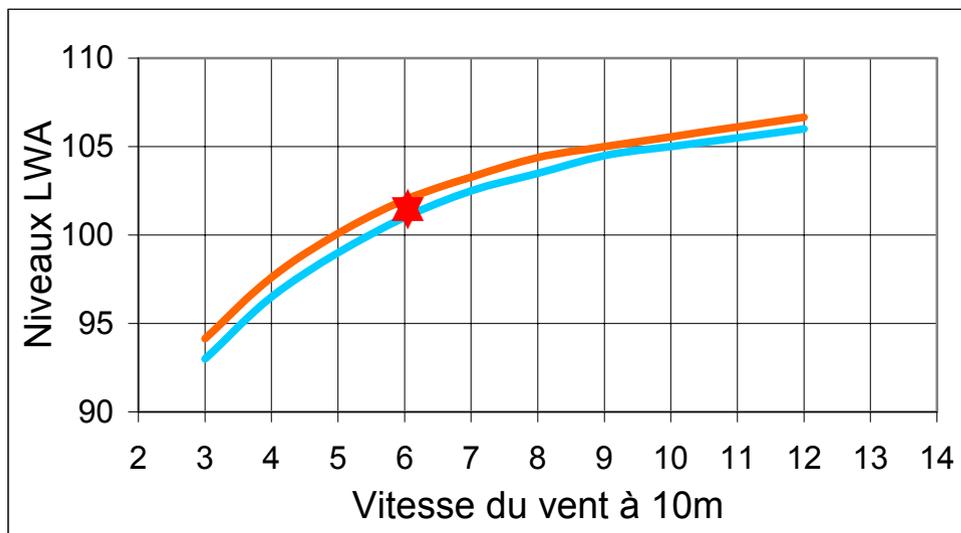
Été : 0.15 à 0.35

4 – Conséquences en Lw HIVER Jour/Nuit

Lw éoliennes	
Alpha 1	0,2
Vitesse H=10m m/s	Lw
3	93
4	96,5
5	99
6	101
7	102,5
8	103,5
9	104,5
10	105
11	105,5
12	106

Lw éoliennes	
Alpha 2	0,25
Vitesse H=10m dB(A)	Lw
3	94,2
4	97,6
5	100,1
6	102,0
7	103,3
8	104,4
9	105,0
10	105,5
11	106,1
12	106,7

Hauteur au moyen : 80 m



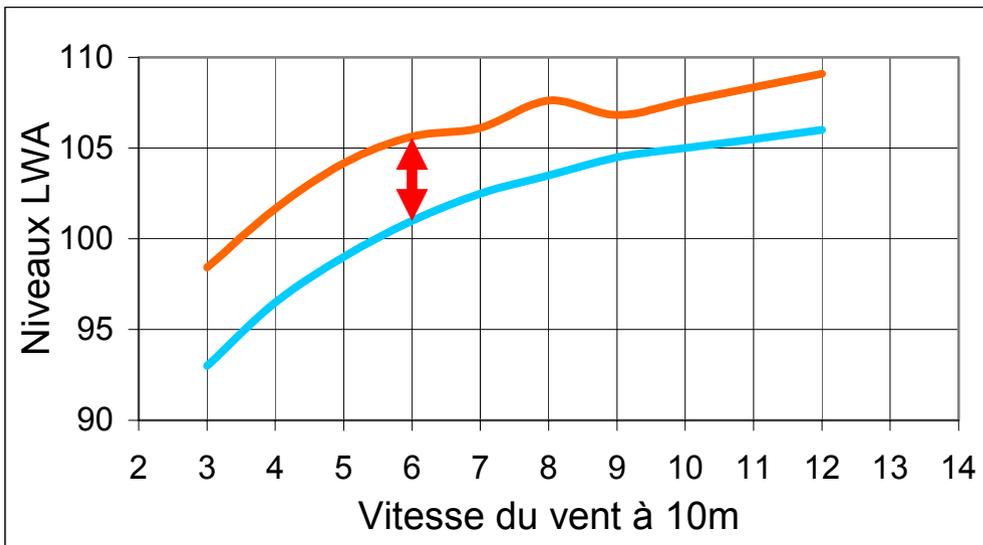
+1 dB(A) sur le Lw

4 – Conséquences en Lw ETE Jour/Nuit

Lw éoliennes	
Alpha 1	0,15
Vitesse H=10m m/s	Lw
3	93
4	96,5
5	99
6	101
7	102,5
8	103,5
9	104,5
10	105
11	105,5
12	106

Lw éoliennes	
Alpha 2	0,35
Vitesse H=10m dB(A)	Lw
3	98,4
4	101,7
5	104,2
6	105,6
7	106,1
8	107,6
9	106,8
10	107,6
11	108,3
12	109,1

Hauteur au moyeu : 80 m



+4 dB(A) sur le Lw !!

4 – Conséquences sur les indicateurs I₀

Analyse de sensibilité "LAeq-L50" - dB(A) $\alpha = 0,1275$		Vitesse du vent à h=10m										Indicateur I ₀ en dB
		<3 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	>10 m/s	
% Rose des vents du site		13,4	15,3	19,6	17,5	12,4	9,0	5,5	3,2	1,8	2,2	
Niveau résiduel retenu PF1		< 31	31	32	34	36	39	42	44	45	45	
Riverain 1	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	31,1	33,1	38,0	42,5	45,1	45,1	45,1	45,0	45,0	0,7
	Niveau ambiant futur		34,4	35,6	39,5	43,3	46,1	46,8	47,6	48,0	48,0	
Niveau résiduel			35	37	39	41	44	46	47	47		
Riverain 2	Contribution du parc	l'arrêt	31,3	34,4	38,3	42,7	45,3	45,3	45,3	45,2	45,2	0,1
	Niveau ambiant futur		34,3	37,3	40,7	44,2	46,7	47,7	48,7	49,2	49,2	
Dépassement d'urgence			0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
Riverain 3	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	32,4	34,4	39,3	43,8	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	0,3
	Niveau ambiant futur		36,3	37,7	41,3	45,0	47,5	48,4	49,2	49,7	49,7	
	Dépassement d'urgence		0,0	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	

Alpha 0.12

Analyse de sensibilité "LAeq-L50" - dB(A) alpha 0,16		Vitesse du vent à h=10m										Indicateur I ₀ en dB
		<3 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	>10 m/s	
% Rose des vents du site		13,4	15,3	19,6	17,5	12,4	9,0	5,5	3,2	1,8	2,2	
Niveau résiduel retenu PF1		< 31	31	32	34	36	39	42	44	45	45	
Riverain 1	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	31,8	34,5	39,4	43,2	45,1	45,1	45,1	45,1	45,1	1,0
	Niveau ambiant futur		34,4	36,4	40,5	44,0	46,1	46,8	47,6	48,1	48,1	
Niveau résiduel			35	37	39	41	44	46	47	47		
Riverain 2	Contribution du parc	l'arrêt	31,7	34,9	39,6	43,5	45,4	45,4	45,4	45,3	45,3	0,2
	Niveau ambiant futur		34,9	37,9	41,5	44,8	46,7	47,8	48,7	49,2	49,2	
Dépassement d'urgence			0,0	0,0	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
Riverain 3	Contribution du parc	Eoliennes à l'arrêt	33,0	35,7	40,6	44,5	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	0,4
	Niveau ambiant futur		36,5	38,4	42,2	45,6	47,5	48,4	49,2	49,7	49,7	
	Dépassement d'urgence		0,0	0,0	0,2	1,6	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	

Alpha 0.16

Augmentation des indicateurs de dépassements I₀

ACOUPHEN ENVIRONNEMENT

MANAGEMENT
DE L'ENVIRONNEMENT SONORE



SOMMAIRE

- 1 – CONTEXTE
- 2 – ETUDE D'IMPACT & CONTRÔLE D'IMPACT
- 3 – VITESSE DE REFERENCE V_s
- 4 – EXEMPLES
- 5 – SYNTHESE

- Méthodologies d'étude et de contrôle d'impact similaires
- Mesures longue durée, corrélation acoustique météo
- Indicateur de sensibilité (émergence de long terme)
- Utilisation de la vitesse standard à 10m/0.05m :
 - Revenir à la vitesse au moyeu
 - Prendre en compte le profil de vent du site
 - Prendre en compte les variations jour/nuit

- Perspectives :
 - Uniformisation urgente des méthodes de contrôle d'impact
 - Etude paramétrique / incertitudes
 - Travaux en cours PrS31-114