

**Pour imaginer  
un avenir commun**

# **Le bruit éolien**

**Mardi 26 Novembre, Site touristique du Pont du Coudray**

# Pour imaginer un avenir commun

Conférences & débats



## ANSES



# Bruit des éoliennes et santé

-

Résultats de travaux d'expertise de l'Anses (mars 2017)  
et travaux réalisés depuis

**Anthony Cadène (Anses)**

**David Ecotière (Cerema)**

**Anne-Sophie Evrard (Univ. Gustave Eiffel)**

**Débat public**  
**- 26 novembre 2024 -**

# Préambule : l'Anses

## Une agence pour évaluer, connaître et protéger

L'Anses est une **agence nationale d'expertise scientifique**.

Établissement public à caractère administratif, elle relève des ministères chargés de la **santé**, de **l'agriculture**, de la **transition écologique**, du **travail** et de la **consommation**.



### Notre rôle

Apporter les **repères scientifiques** nécessaires aux décideurs publics pour mieux protéger notre santé, y compris au travail, celle des animaux et celle des plantes.

### Notre ambition

Favoriser la production de données et de connaissances pour **renforcer la sécurité sanitaire globale** avec nos homologues européens et internationaux.

Créée en  
2010

1400  
agents

Budget annuel  
d'environ  
160 M€



# Fonctionnement de l'expertise Anses

## Recherche scientifique



- Psychoacoustique
- Acoustique
- Médecine
- Épidémiologie
- ...



## Données



## Expertise



Travaux publiés et gratuits (site internet)

Groupe de travail multidisciplinaire

- Excellence scientifique
- Indépendance
- Transparence



L'expertise répond à une question précise, ici :

**relations entre infrasons des éoliennes et santé humaine**

- ≠
- Impacts sur la faune
  - Esthétique, pollution lumineuse ou visuelle, patrimoine culturel
  - Choix énergétiques (climat, pollutions, stratégies nationales, etc.)
  - Questions économiques (emplois, redistribution des avantages/ inconvénients)
  - Démocratie et choix politiques

...



## Une présentation à 3 voix

# Etat des connaissances des effets sanitaires des bruits des parcs éoliens

## 1) Notions d'acoustique des parcs éoliens

- Généralités acoustiques
- Caractéristiques du bruit éolien
- Méthodes de prévision et de mesures de bruit
- Solutions de réduction du bruit

## 2) Résumé de l'expertise collective de l'Anses

- Connaissances sur les effets sanitaires du bruit environnemental
- Expertise « bruits basses fréquences et infrasons des parcs éoliens »

## 3) Travaux depuis et perspectives

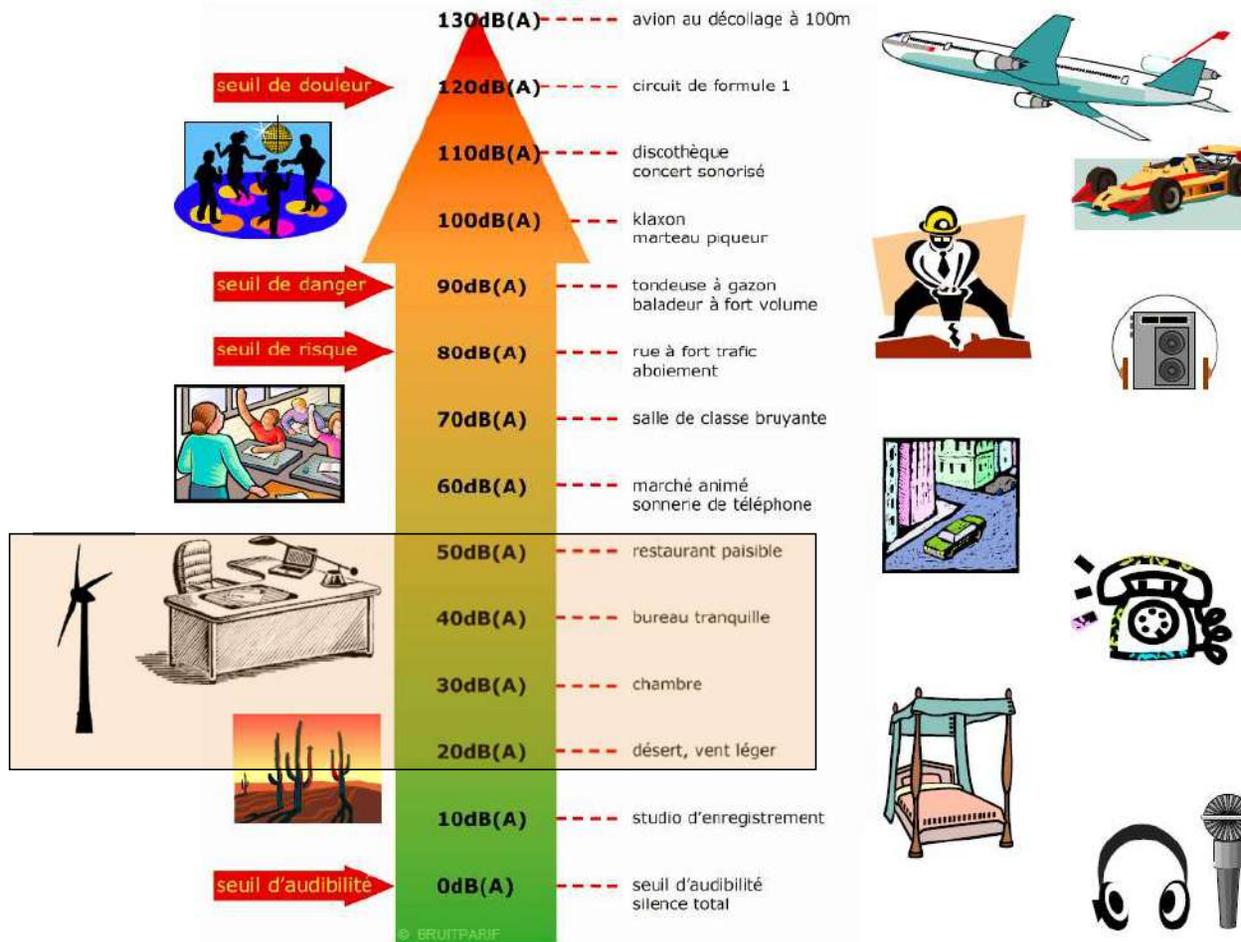
## Discussions

# Introduction à l'acoustique des parcs éoliens

- Généralités acoustiques
- Caractéristiques du bruit éolien
- Méthodes de prévision et de mesures de bruit
- Solutions de réduction du bruit



# Le bruit : quelques repères

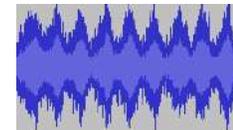




# Le bruit éolien

- **Types de bruit**

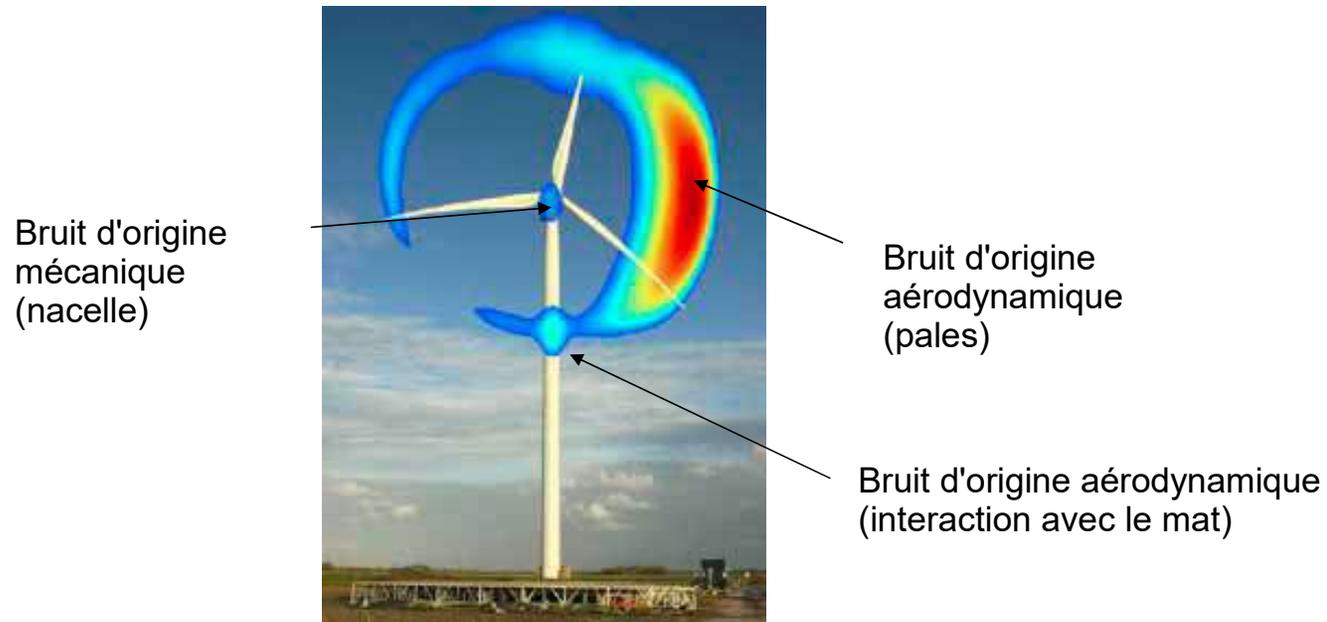
- Bruit large spectre (origine aérodynamique)
- Bruit basse fréquence (avis ANSES 2017)
- Tonalités marquées (origine mécanique)
- Modulation d'amplitude (origine mal connue)
- Bruit impulsif (ex : interaction avec le mat)





# Le bruit éolien

- Principales sources de bruit



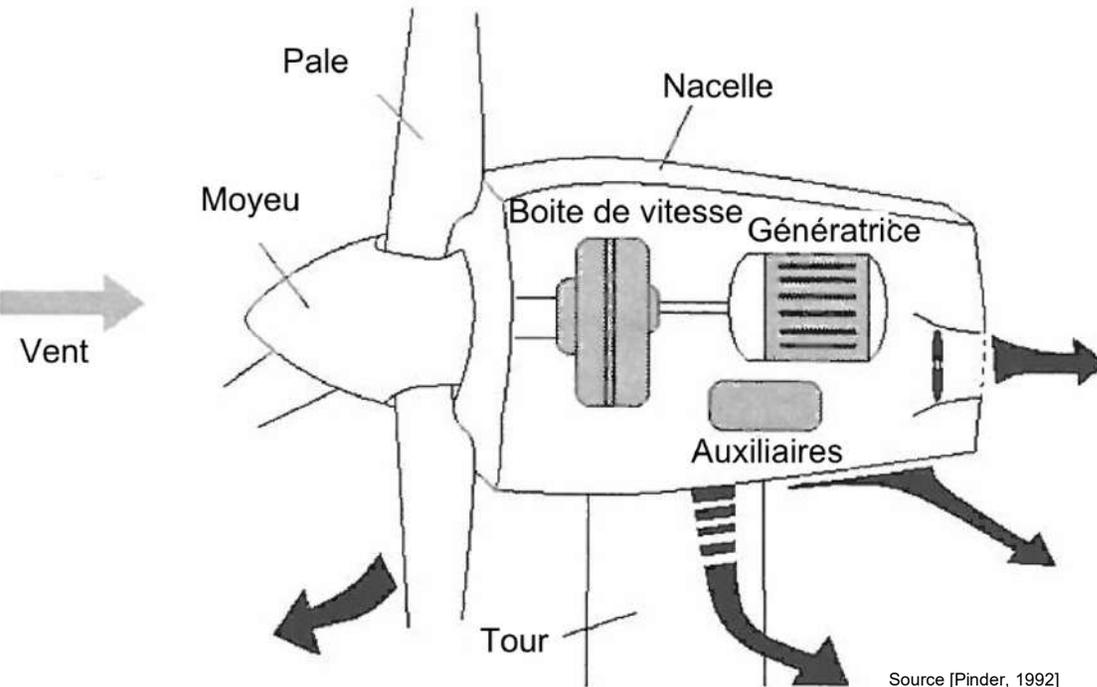
Source [Oerlemans, 2005]



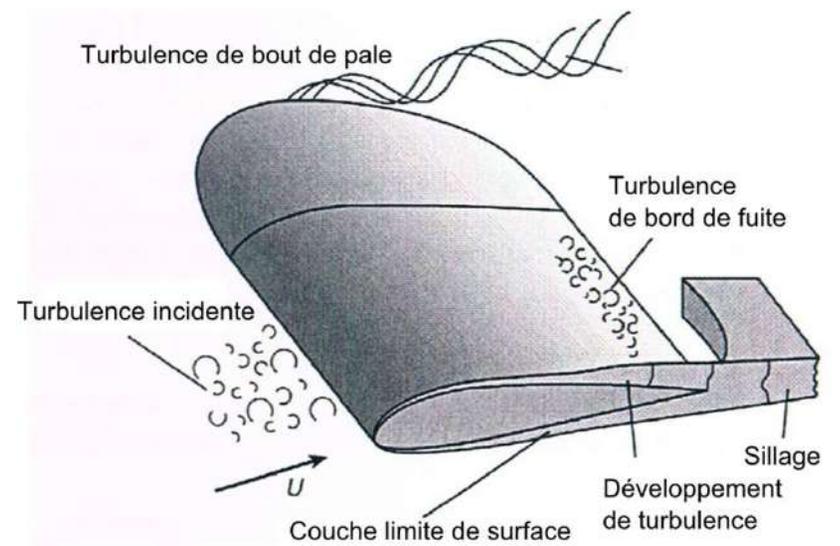
# Le bruit éolien

- Principales sources de bruit

Origine mécanique



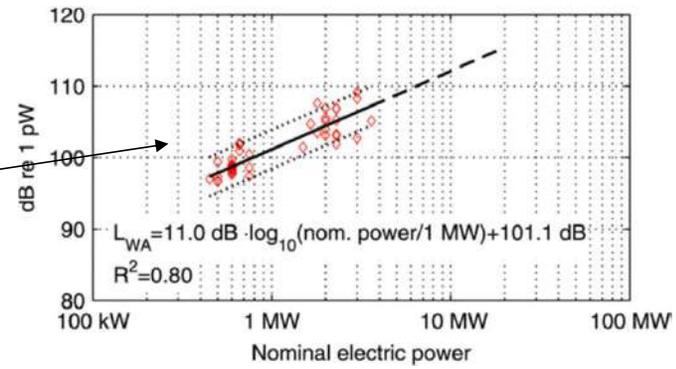
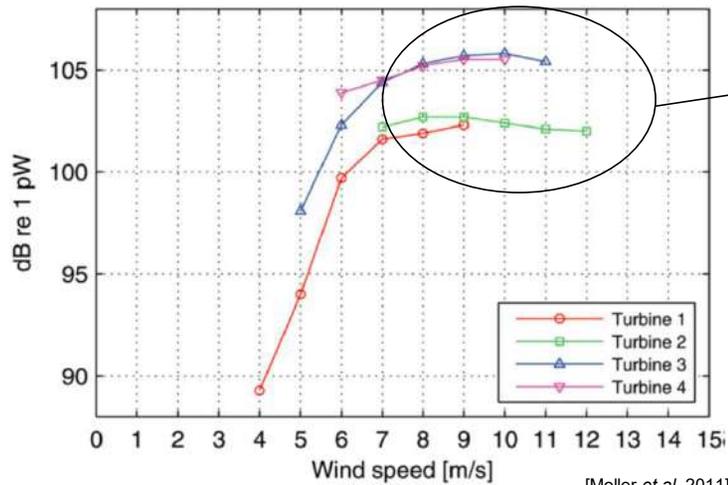
Origine aérodynamique





# Le bruit éolien

- Emission sonore d'une éolienne

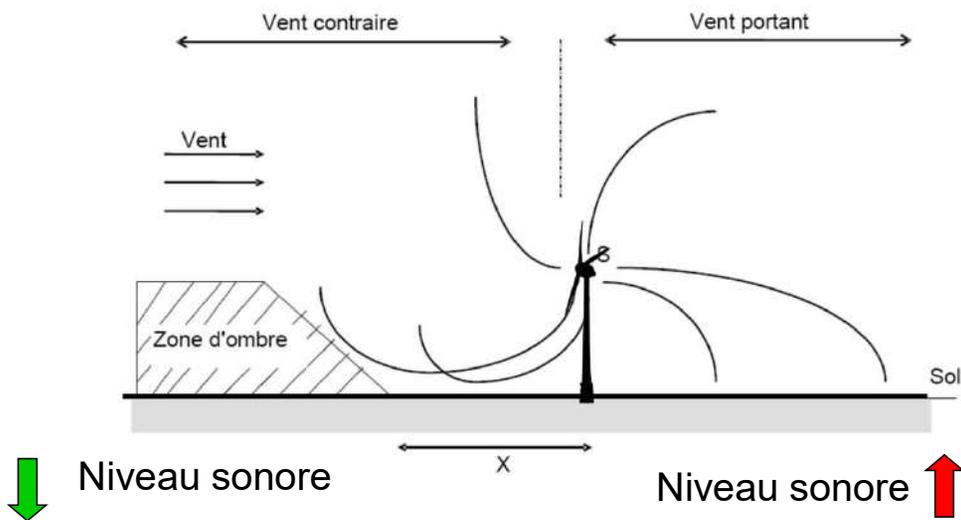




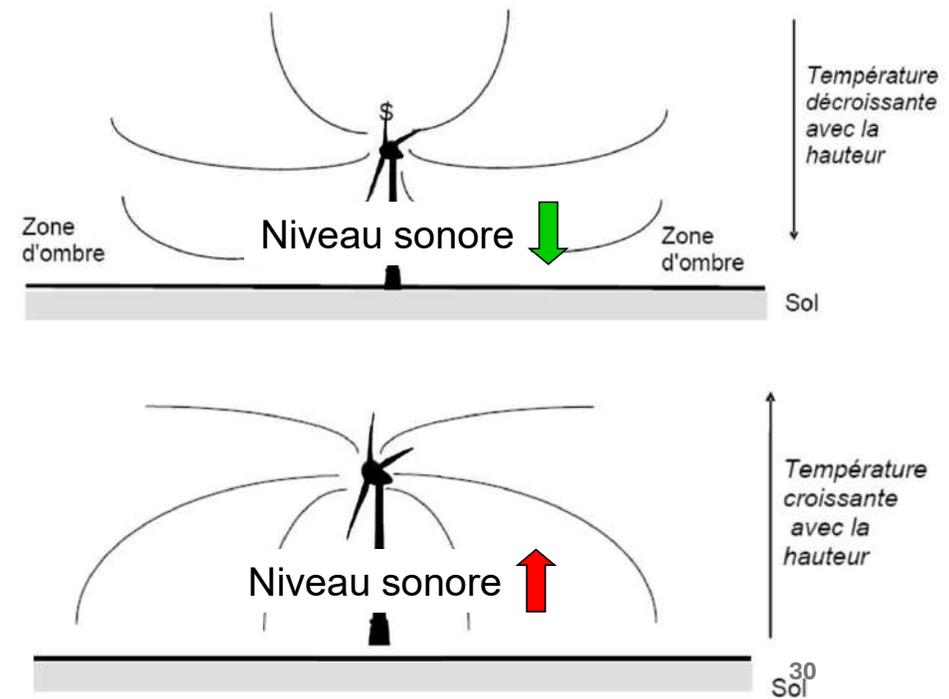
# Le bruit éolien

- Propagation sonore : influence de la météorologie

Influence du vent



Influence de la température



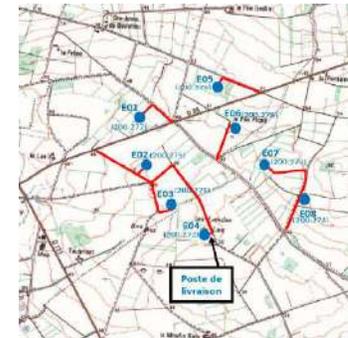


# Le bruit éolien

- Solutions de reduction du bruit
  - Optimisation de la position des éoliennes
  - Réduction à la source : bridage des machines

NE 330°-150° (22h-7h)									
Vs à H 10m	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Vs à H 10m	[2,5; 3,5]	[3,5; 4,5]	[4,5; 5,5]	[5,5; 6,5]	[6,5; 7,5]	[7,5; 8,5]	[8,5; 9,5]	[9,5; 10,5]	>10,5
V à H 105m	[3,6 ;5,1]	[5,1 ;6,5]	[6,5 ;7,9]	[7,9 ;9,4]	[9,4 ;10,8]	[10,8 ;12,3]	[12,3 ;13,7]	[13,7 ;15,2]	>15,2
E1	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	mode 0	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0
E2	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	mode 2	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0
E3	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	stop	stop	mode 2	mode 0	mode 0
E4	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	mode 2	mode 2	mode 0	mode 0	mode 0
E5	mode 0	mode 0	mode 0	stop	stop	stop	stop	mode 2	mode 0
E6	mode 0	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0				
E7	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0				
E8	mode 0	mode 0	mode 0	mode 3	mode 2	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0

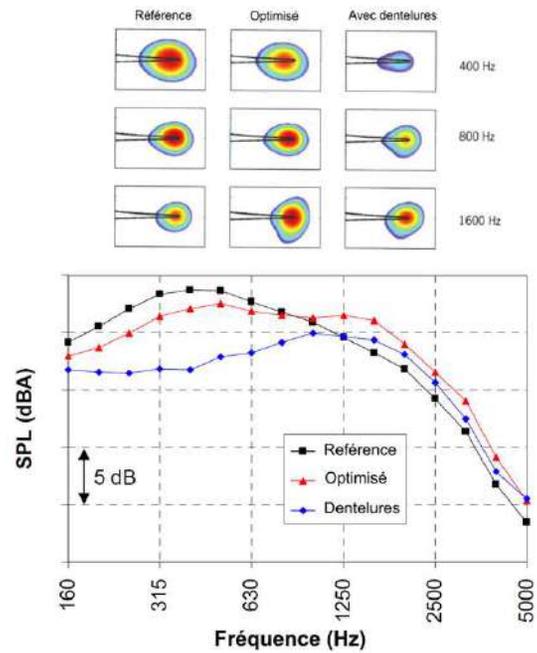
SW 150°-330° (22h-7h)									
Vs à H 10m	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Vs à H 10m	[2,5; 3,5]	[3,5; 4,5]	[4,5; 5,5]	[5,5; 6,5]	[6,5; 7,5]	[7,5; 8,5]	[8,5; 9,5]	[9,5; 10,5]	>10,5
V à H 105m	[3,6 ;5,1]	[5,1 ;6,5]	[6,5 ;7,9]	[7,9 ;9,4]	[9,4 ;10,8]	[10,8 ;12,3]	[12,3 ;13,7]	[13,7 ;15,2]	>15,2
E1	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	mode 2	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E2	mode 0	mode 0	mode 3	mode 0	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E3	mode 0	mode 0	mode 3	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E4	mode 0	mode 0	mode 3	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E5	mode 0	mode 0	mode 0	stop	mode 2	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0
E6	mode 0	mode 0	mode 0	mode 2	mode 2	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E7	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 1	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0
E8	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0	mode 0				





# Le bruit éolien

- Solutions de réduction du bruit
  - Dispositif de réduction du bruit à la source



[Bowdler *et al.*, 2012]

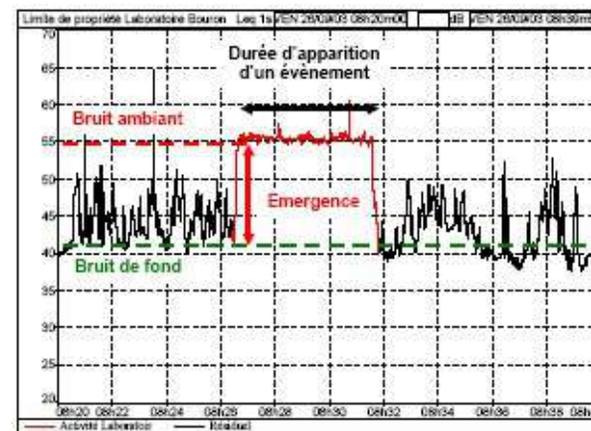


# Le bruit éolien

- **Réglementation**

- Arrêté 26/08/2011 : éolienne = ICPE (section 6 : Bruit)

- **Emergence** max dans zones à émergence réglementées (ZER)
- **Niveau sonore** limite en limite de 'domaine'
- **Tonalités marquées**



*Exemple d'une mesure de bruit*

et al, 2012]

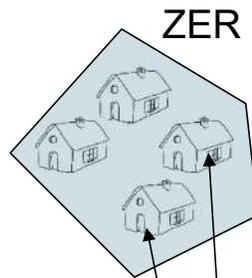


# Le bruit éolien

## • Réglementation

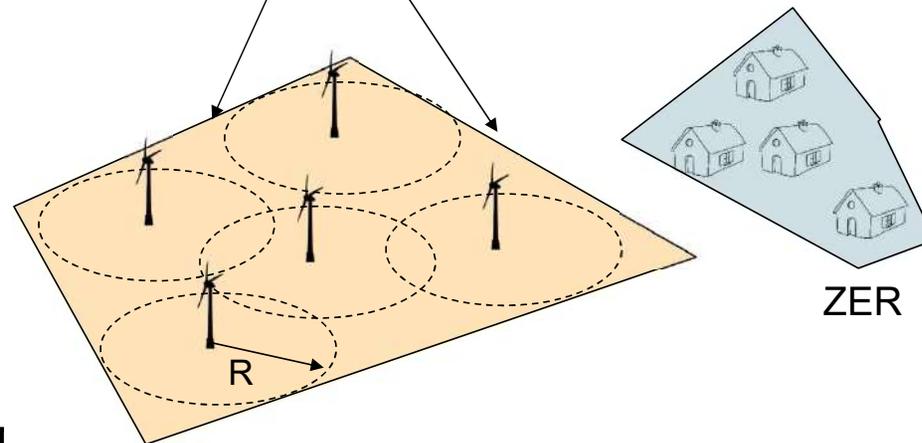
- Seuils réglementaires

	<b>7h-22h</b>	<b>22h-7h</b>
<b>LAeq<sub>max</sub> (dBA)</b>	70	60



Si LAeq > 35 dBA

<b>E<sub>max</sub> (dBA)</b>	<b>7h-22h</b>	<b>22h-7h</b>
<b>T &gt; 8h</b>	5	3
<b>4h &lt; T &lt; 8h</b>	5+1	3+1
<b>2h &lt; T &lt; 4h</b>	5+2	3+2
<b>20min &lt; T &lt; 2h</b>	5+3	3+3



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



# Le bruit éolien

- **Mesures d'impact sonore**

- Protocole application obligatoire depuis 12/2021 (v1). (application suspendue en 03/2024)
- Version en vigueur au 01/01/2024 : 20/06/2023 (v3) <https://is.gd/JOZiPa>
- Méthode harmonisée en application de la réglementation existante

  
MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

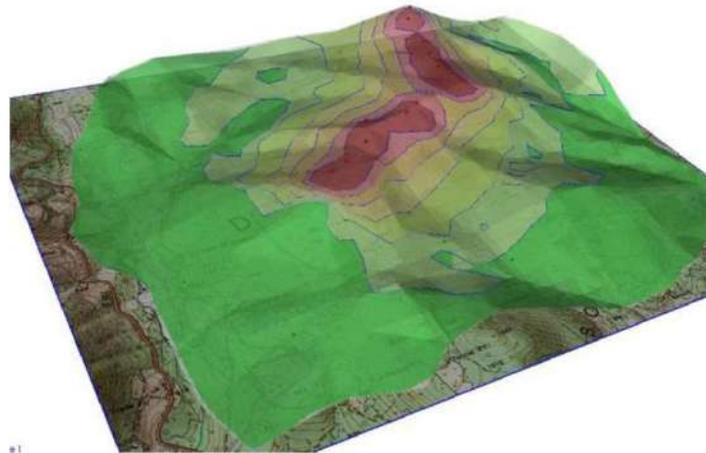
Protocole de mesure de l'impact acoustique  
d'un parc éolien terrestre  
version du 20 juin 2023



# Méthode de prévision acoustique

- **Modélisation acoustique**

- Actuellement pas de méthode normalisée ni imposée en France
- Modélisation : prise en compte de la topographie, des obstacles, de la météo



# Expertise scientifique de l'Anses

**Evaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens (mars 2017)**





# Avant propos : notions bruit et santé

## Effets sur l'audition

Fatigue auditive, perte auditive, acouphènes, hyperacousie

Sommeil, fonctions végétatives, fonction immunitaire, croissance

## Effets biologiques

## Effets extra-auditifs

Performances  
Apprentissage  
Prise de médicaments  
Troubles psychiques

## Effets comportementaux

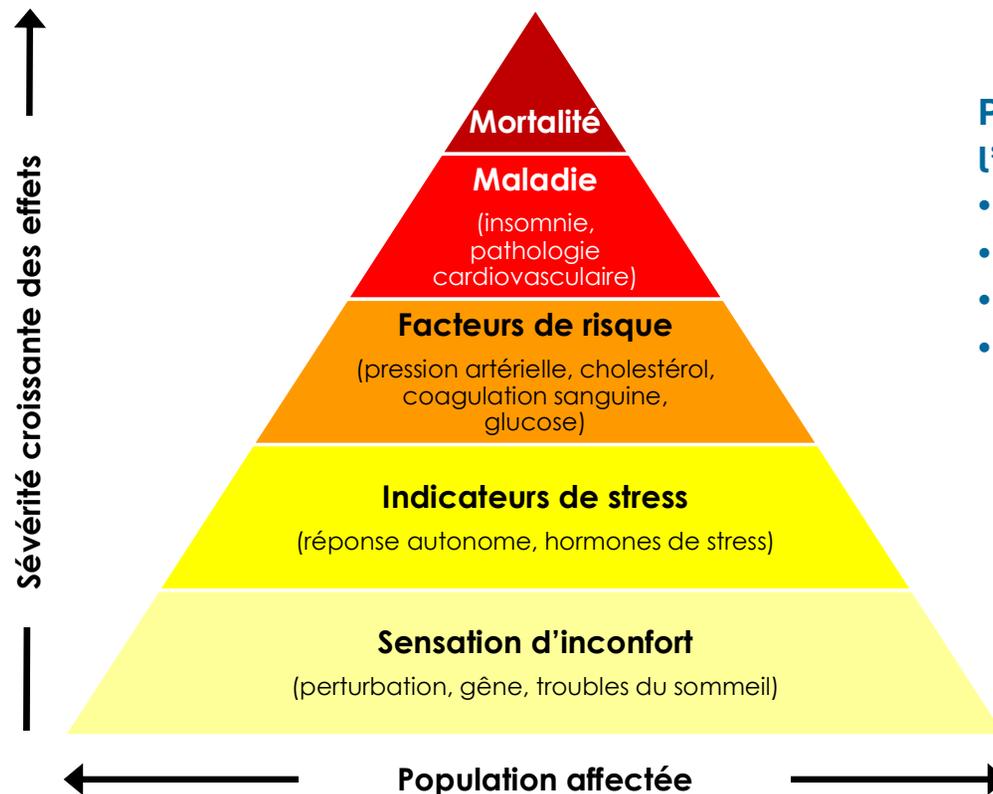
Gêne, irritation,  
manque de concentration

## Effets subjectifs



# Les effets extra-auditifs du bruit

Se manifestent lors d'expositions chroniques ou répétées à des niveaux sonores beaucoup plus faibles : bruits environnementaux courants.

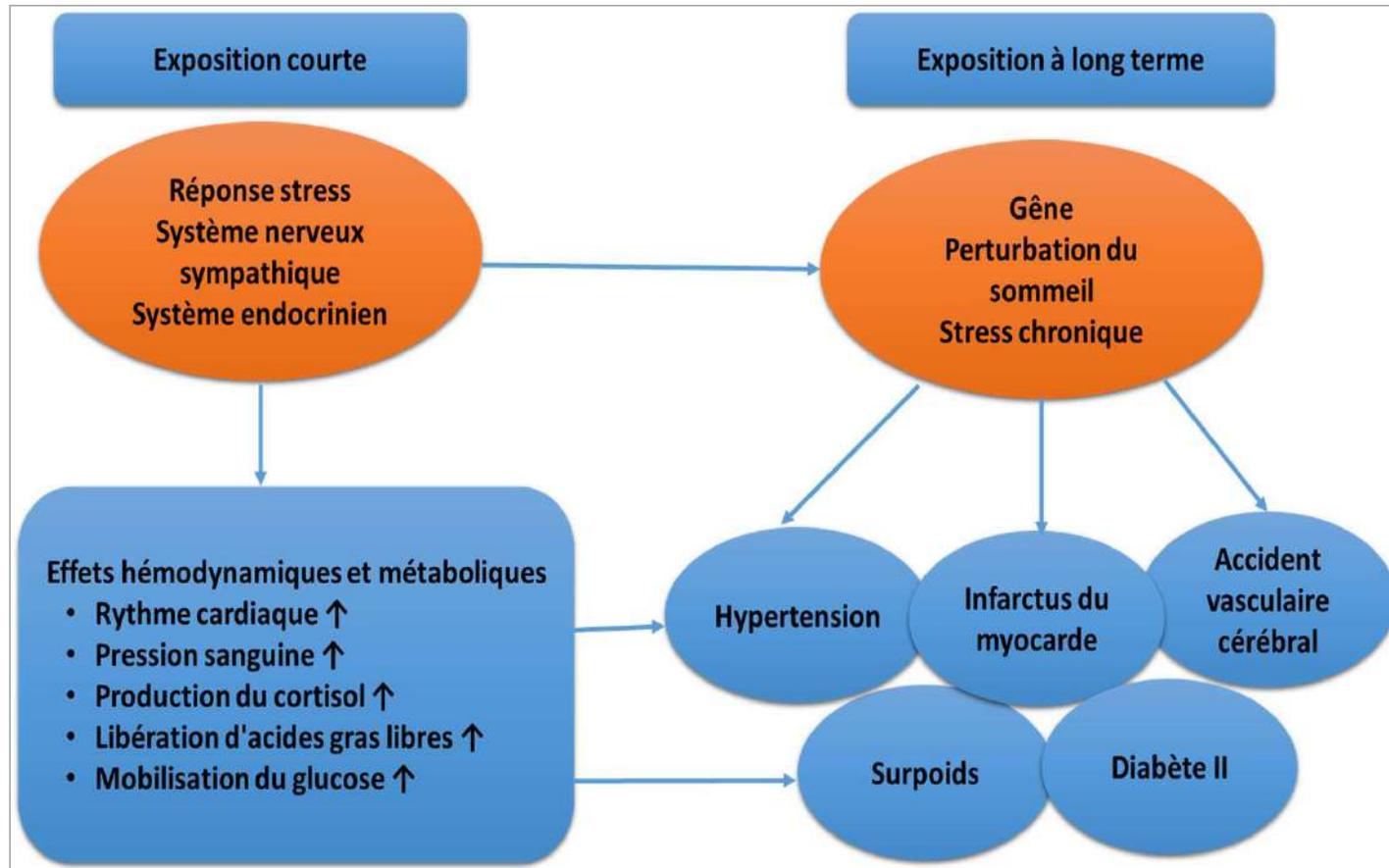


## Principaux effets reconnus par l'OMS

- Gêne
- Perturbations du sommeil
- Retards dans les apprentissages
- Cardiopathies ischémiques



# Les effets à court et long terme





# La pollution sonore, un impact souvent sous-évalué

## ➤ Une part importante des effets de santé lié à l'environnement

Pour l'Agence européenne de l'environnement (AEE), la pollution sonore est le **2<sup>ème</sup> facteur de morbidité environnementale en Europe** (derrière la pollution atmosphérique)

## ➤ Quantification des conséquences du bruit en France :

L'ADEME et le Conseil national du bruit (CNB) ont estimé le coût du bruit en France

**147,2 milliards d'euros par an**

- Coût sanitaire : 127,2 milliards d'euros par an
- + 19,9 milliards d'euros par an de coûts non sanitaires
- 66,5% du coût social du bruit, soit 97,8 Md€/an, est causé par le bruit des transports

• gêne forte	(17,2 millions de personnes)	→ 45,3 Md€/an
• perturbations du sommeil	(3,8 millions de personnes)	→ 34,9 Md€/an
• maladies cardiovasculaires	(120 000 personnes, 3 000 décès)	→ 12,9 Md€/an
• obésité	(1,4 million de personnes)	→ 18 Md€/an
• troubles anxio-dépressifs	(730 000 personnes)	→ 14 Md€/an
• surdités professionnelles	(600 nouveaux cas/an) et accidents du travail en lien avec le bruit (154 000 accidents)	→ 0,9 Md€/an
• difficultés d'apprentissage liées au bruit (1,1 million de personnes)		→ 0,9 Md€/an
• etc.		



# Bruit éolien et réglementation

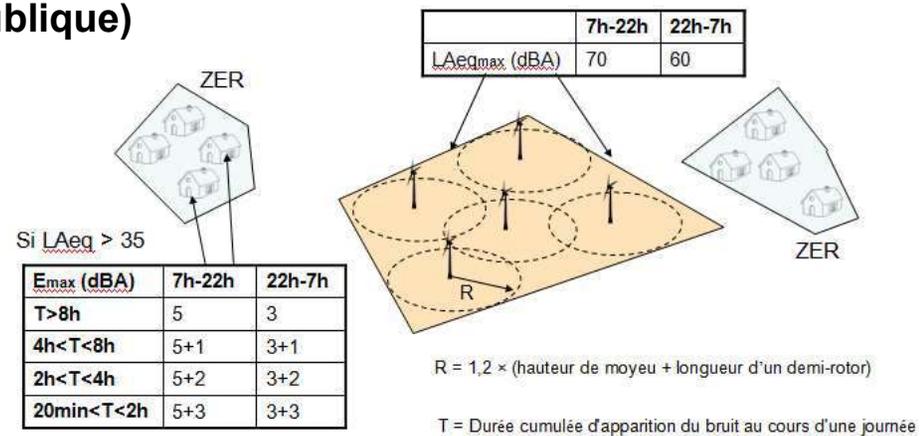
Depuis 2016, les éoliennes sont soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)



**Processus d'autorisation**  
(dossier d'autorisation, enquête publique)

## ➤ Des valeurs limites de bruit

- en valeur absolue (en limite de périmètre) : LAeq
- en valeur relative (milieux habités) : émergence



## ➤ Des distances minimums d'éloignement

- 500 m de toute construction à usage d'habitation ou zone destinée à l'habitation
- 300 m d'une installation nucléaire de base ou d'une ICPE
- 250 m d'un bâtiment à usage de bureaux



# Contexte de ces travaux d'expertise

## Une problématique sanitaire :

Des riverains de parcs éoliens se plaignent de divers symptômes qu'ils attribuent aux **infrasons** des éoliennes (domaine du bruit peu pris en compte / réglementation)



## Ministères

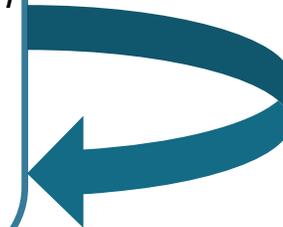
(gestion des risques)

Faut-il adapter la réglementation ?



Y a-t-il des effets sanitaires / infrasons des éoliennes ?

Actions de gestion



Les ministères saisissent l'Anses

## Anses

(évaluation des risques)

Quel état actuel des connaissances scientifiques sur les effets sanitaires potentiels des basses fréquences et infrasons des éoliennes ?

### Groupe de travail (8 experts)

3 ans de travail (avril 2014 - octobre 2016)

- 10 auditions :
  - riverains (2) et associations de riverains (2)
  - industriels et syndicats de l'industrie de l'éolien (3)
  - spécialistes scientifiques (3)
- 3 sites éoliens étudiés
- 2 commandes de travaux externes
  - revue des réglementations
  - analyse socioéconomique du contexte éolien



# Constats initiaux relatif au contexte éolien

## ➤ Des tensions socio-économiques autour des éoliennes

Des espaces décisionnels à différents échelons intégrant des sujets clivants (économiques, énergétiques, politiques) et impliquant des acteurs dont les objectifs diffèrent (ou sont perçus comme tels)

**La santé ne constitue qu'un sujet parmi d'autres**  
(plus souvent facteur d'opposition que d'adhésion)

## ➤ État des lieux des préoccupations sanitaires

**Il existe de réelles situations de mal-être**

Des situations complexes à caractériser  
(ressenti de santé / expositions acoustiques complexes)

Des mécanismes ou effets sanitaires faisant l'objet de préoccupations chez les riverains

- Vibroacoustic disease (VAD)
- Wind turbine syndrome (WTS) ou syndrome éolien
- Effets cochléovestibulaires



# Revue des préoccupations sanitaires (bruit éolien)

## Large revue de la littérature scientifique

Plus de 600 documents répertoriés et analysés

### ➤ Vibroacoustic disease (VAD)

**Hypothèse d'effet non validée pour expliquer les symptômes rapportés**

(biais méthodologiques majeurs des quelques études sources, résultats non cohérents avec les autres travaux existants, travaux d'une unique équipe s'autocitant, publiant le plus souvent des synthèses dans des revues non soumises à comité de lecture, mécanismes d'effet non cohérent)

### ➤ Syndrome éolien (WTS)

Essentiellement une **liste de symptômes non spécifiques**

Un syndrome relié à l'exposition aux éoliennes (**non spécifique aux IBF**)

Pas de mécanisme d'effet proposé autre que celui des effets du stress

### ➤ Effets cochléovestibulaires

**Des réponses physiologiques** du système cochléovestibulaire en réaction à des stimuli **IBF de fortes intensités**



Effets physiologiques observés **en laboratoire** pour des expositions particulières  
(≠ exposition environnementale au bruit éolien)



Absence de lien documenté entre survenue de ces effets physiologiques et effet sanitaire (pathologie)



## Revue des préoccupations sanitaires (suite)

Revue élargie aux relations entre expositions aux IBF et état de santé

### ➤ Études expérimentales / niveau sonore comparable

Peu d'études spécifiques aux IBF des éoliennes

Aucune association entre marqueurs physiologiques recherchés pouvant identifier un effet

Effets constatés :

- gêne autodéclarée
- effet nocebo constaté / IBF des éoliennes

### ➤ Études expérimentales / fortes intensités sonores

Des connaissances peu stabilisées pour des expositions régulièrement rencontrées dans le cadre professionnel (effets peu évidents, études anciennes)

Essentiellement des **effets peu spécifiques, souvent réversibles** pour des niveaux raisonnables

### ➤ Études épidémiologiques autour de parcs éoliens

Essentiellement des études relatives au bruit audible, pour des effets autodéclarés et transversales

Peu d'éléments d'information pertinents au final / IBF



## Conclusions (1/2)

1) ***Rappel du contexte : il existe des situations de mal-être et les IBF ne constituent qu'une hypothèse d'explication parmi d'autres à ces situations***

2) ***Les éoliennes sont des sources de bruit dont la part des infrasons et basses fréquences sonores prédomine dans le spectre d'émission sonore.***

Des caractéristiques non exceptionnelles puisque d'autres sources sonores comparables, naturelles (vent notamment) ou d'origine anthropique (poids-lourds, pompes à chaleur, etc.) existent couramment dans le paysage sonore urbain et rural

3) ***Rappel : les infrasons peuvent être perçus à très forts niveaux***

4) ***À 500 m, les infrasons des éoliennes ne sont pas audibles***

➡ Pas de nuisance liée à l'audibilité directe des infrasons du bruit éolien



Hypothèse de perception indirecte possible *via* la modulation d'amplitude du spectre audible ? (connu pour des niveaux plus forts, non vérifié expérimentalement / bruit éolien plus faible)

5) ***Rappel : l'inaudibilité d'un bruit n'exclut pas l'existence de possibles effets sanitaires***



## Conclusions (2/2)

- 6) *En raison de ses faibles bases scientifiques, la « vibroacoustic disease » (VAD) ne permet pas d'expliquer les symptômes rapportés*
- 7) *Des mécanismes d'effets hypothétiques pour des IBF non audibles via le système cochléovestibulaire qui restent à confirmer*

Des réponses physiologiques observées en laboratoire



Réalité de ces effets pour des expositions réalistes aux IBF d'éoliennes ?



Effet physiologique ≠ effet sanitaire

***L'examen des données expérimentales et épidémiologiques disponibles ne mettent pas en évidence d'argument scientifique suffisant en faveur de l'existence d'effets sanitaires liés aux expositions au bruit des éoliennes, autres que la gêne liée au bruit audible et un effet nocebo***



## Recommandations (1/2)

### Connaissances bruit-santé

- **Lever le doute concernant la piste de possibles effets cochléovestibulaires**  
via des études cliniques/expérimentales en s'aidant des signatures physiologiques objectives de ces effets et des progrès instrumentaux ;
- **Caractériser la composante des plaintes liée au bruit audible des éoliennes**  
(études de psychoacoustique / modulation d'amplitude)
- Étudier les **mécanismes d'action du stress**, dont l'effet nocebo  
(en s'appuyant notamment sur les progrès en neurosciences)
- **Études épidémiologiques ?** (étude de faisabilité)

### Renforcement des connaissances / expo

- Pour les IBF :
  - **normalisation du mesurage**
  - mise au point d'un **modèle de prévision numérique des expositions**
- Pour le bruit des éoliennes de manière générale, afin d'améliorer la comparabilité :
  - méthode harmonisée / **modulations d'amplitude**
  - détermination d'une **méthode unique de prévision du bruit**



## Recommandations (2/2)

### Information des riverains

- **Améliorer l'information rendue disponible aux riverains / projet de parc**
  - Transmission le plus en amont possible
  - Amélioration de la visibilité des enquêtes publiques (milieu rural notamment)
  - Mise à disposition d'un état des connaissances actualisé
- Favoriser la **concertation**, le plus en amont possible des projets
- Définir **les interlocuteurs au niveau local** et mieux les impliquer

### Réglementation

- **Contrôle systématique de la puissance acoustique des éoliennes avant mise en service**  
(vérification de la pertinence de ce facteur essentiel / simulations numériques)
- **Mesurage en continu du bruit** des parcs éoliens
  - But :
    - suivre l'évolution des expositions et identifier/caractériser des périodes de dépassement
    - disposer de mesures de bruit à confronter à des journaux de gêne

# Travaux en cours et perspectives

- Projet Cibélius**
- Projet RIBEOIH**



## Contexte (1/2)



### Preuves concernant les effets sur la santé du bruit émis par les éoliennes soit inexistantes soit de faible qualité

(Anses 2017, OMS 2018)

- **Peu d'études épidémiologiques** ont recherché les effets sur la santé autres que la gêne, du bruit audible des éoliennes et la plupart présentent des **lacunes méthodologiques** qui rendent leurs résultats discutables
- Aucune de ces études ne s'est intéressée spécifiquement **aux effets sur la santé des IF ou des sons de basse fréquence (SBF) émis par les éoliennes**



## Contexte (2/2)



### Revue de la littérature des études publiées entre 2017 et mi-2020 par Van Kamp et van den Berg (2021)

- **La gêne** est à nouveau apparue comme la **conséquence la plus importante** du bruit émis par les éoliennes : **plus le niveau de bruit (en dB) est élevé, plus la gêne est importante**
- Les résultats des recherches scientifiques concernant les **autres effets sur la santé** (perturbations du sommeil, maladies cardiovasculaires, effets métaboliques, impacts sur la santé mentale et les fonctions cognitives) ne sont **pas disponibles ou sont incohérents**

### L'OMS et l'Anses recommandent donc de réaliser des études épidémiologiques

- Sur un **grand nombre d'individus**
- En utilisant des **mesures objectives** de l'état de santé des participants
- Et en mesurant l'exposition au bruit des éoliennes par une approche objective et standardisée sur une large gamme de niveaux et de fréquences (y compris les SBF)



## Cibélius (2017-2019)



Un certain nombre de verrous restaient à lever avant qu'une telle étude puisse être menée en France

- **Estimation de l'exposition au bruit des éoliennes** : pas de réel consensus sur un modèle de prédiction de ce type de bruit
- **Décompte du nombre de personnes exposées** à des niveaux de bruit émis par les éoliennes différents et contrastés

## Cibélius : Connaître l'Impact du Bruit des ÉoLiennes sUr la Santé

- Étude de faisabilité financée par l'Anses (2017-2019)
- Objectif : Évaluer l'exposition de la population de France métropolitaine au bruit des éoliennes



# Exposition de la population française au bruit des éoliennes (1/3)



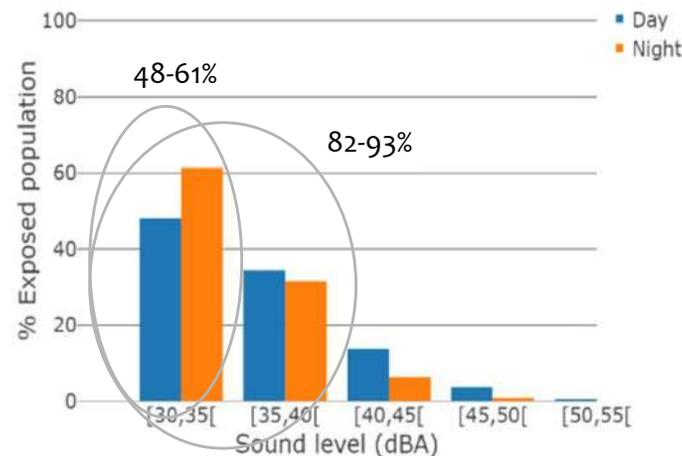
## Résultats de Cibélius

- **Population exposée à des niveaux de bruit d'éoliennes supérieurs à 30 dBA**

- Jour : 685 770
  - Nuit : 721 559
- } 1% de la population française en 2017

- **Niveaux d'exposition au bruit modérés**

- 82-93% de la population exposée est exposée à des niveaux inférieurs à 40 dBA



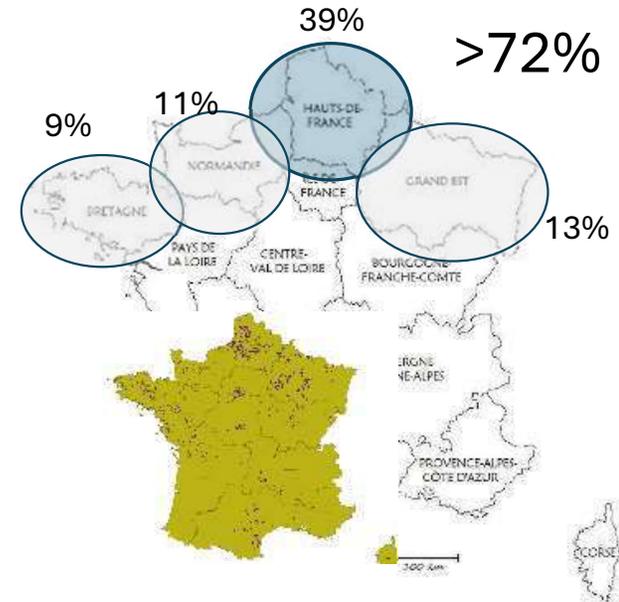
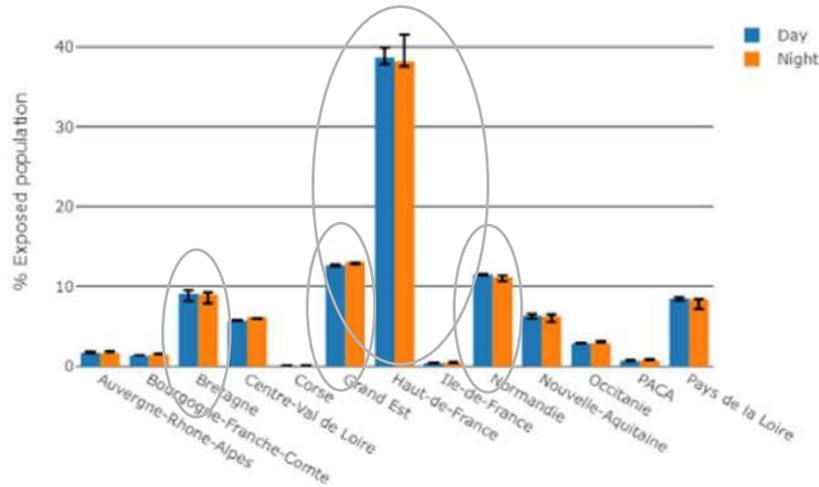


# Exposition de la population française au bruit des éoliennes (2/3)



## Résultats de Cibélius

- Nord de la France : plus de 72% de la population exposée
  - Hauts-de-France : 39%
  - Bretagne, Normandie, Grand-Est : 9-13%





# Exposition de la population française au bruit des éoliennes (3/3)

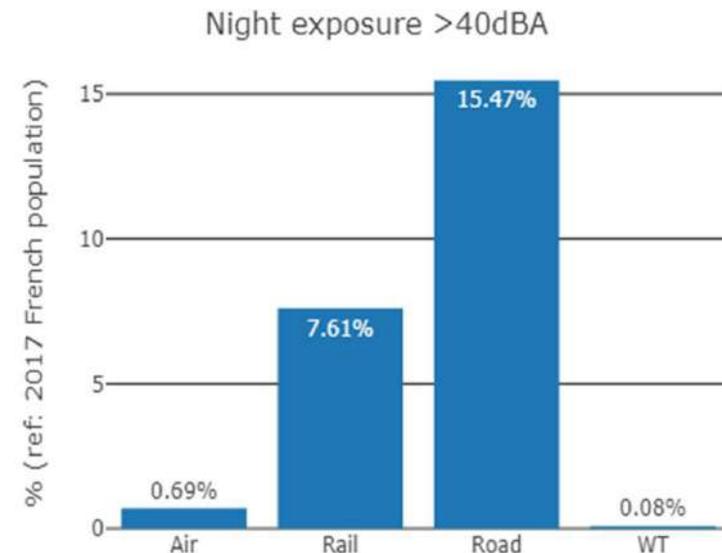


## Résultats de Cibélius

- **Comparison avec d'autres sources d'exposition au bruit environnemental**

Population française (2017) exposée à des niveaux de bruit supérieurs à 40 dBA la nuit

- Bruit routier : 15,5%
- Bruit ferroviaire : 7,6%
- Bruit du trafic aérien : 0,7%
- Bruit des éoliennes : 0,08%



Plus de détails dans Ecotière *et al*, IJERPH 2022, Ecotière *et al*, CFA2022/22 et Evrard *et al*, ERS 2022



# RIBeolH : Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (2020-2027) (1/4)



## Objectifs

[ribeolh.univ-gustave-eiffel.fr](http://ribeolh.univ-gustave-eiffel.fr)

- **Évaluer les effets sur la santé** (effets sur le système cochléo-vestibulaire, perturbations du sommeil, stress, maladies cardiovasculaires, troubles psychologiques, gêne due au bruit) du bruit audible ou non (SBF et IF), émis par les éoliennes
- **Identifier les caractéristiques spécifiques** du bruit audible et non audible (SBF et IF) émis par les éoliennes, et **mieux comprendre** les mécanismes auditifs associés à la perception des IF et des SBF des éoliennes, et plus particulièrement la **perception de l'intensité sonore (sonie) et des modulations d'amplitude, et leur lien avec la gêne**
- **Mieux connaître les effets des IF sur l'oreille interne et le système nerveux central** ; ces effets pouvant expliquer certaines symptomatologies parfois décrites par des sujets exposés aux IF et qui s'en plaignent





# RIBeolH : Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (2020-2027) (2/4)



## Méthodes : deux études

### ● Étude épidémiologique (1 200 riverains de parc éoliens en France)

- **Exposition au bruit émis par les éoliennes** (modèle de prévision du bruit Harmonoise)
- **Campagne expérimentale sur un site éolien** afin de valider des sons synthétisés et de fournir des échantillons de sons pour des tests psychoacoustiques et des tests physiologiques
- **Questionnaire** : gêne due au bruit, sensibilité au bruit, perturbations du sommeil, consommation de médicaments, état de santé (hypertension, maladies cardiovasculaires, troubles psychologiques)
- **Mesures** de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque et du cortisol (stress)
- (Enregistrements des paramètres objectifs du sommeil (**EOLSOM**nie, 100 riverains))





# RIBEOlH : Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (2020-2027) (3/4)



## Méthodes : deux études

- **Étude psychoacoustique et physiologique en laboratoire (environ 150 auditeurs)**
  - **Synthèse de sons par un modèle physique pour différentes conditions de fonctionnement des éoliennes**

Comme une bonne qualité sonore des enregistrements est possible in situ uniquement pour des faibles vitesses de vent, les sensations gênantes dues au bruit des éoliennes ne pourront pas être toutes étudiées à partir de sons enregistrés
  - **Validation perceptive des sons synthétisés** en les comparant à des sons enregistrés dans les mêmes conditions de fonctionnement des éoliennes
  - Détermination d'un **modèle de sonie** applicable aux SBF et IF
  - **Analyse des principaux facteurs acoustiques de la gêne** et proposition d'indices associés
  - **Mesures physiologiques** des réponses cochléo-vestibulaires avant et après exposition sonore strictement contrôlée



[Oerlemans et al. 2007]





# RIBeolH : Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (2020-2027) (4/4)



## Originalités

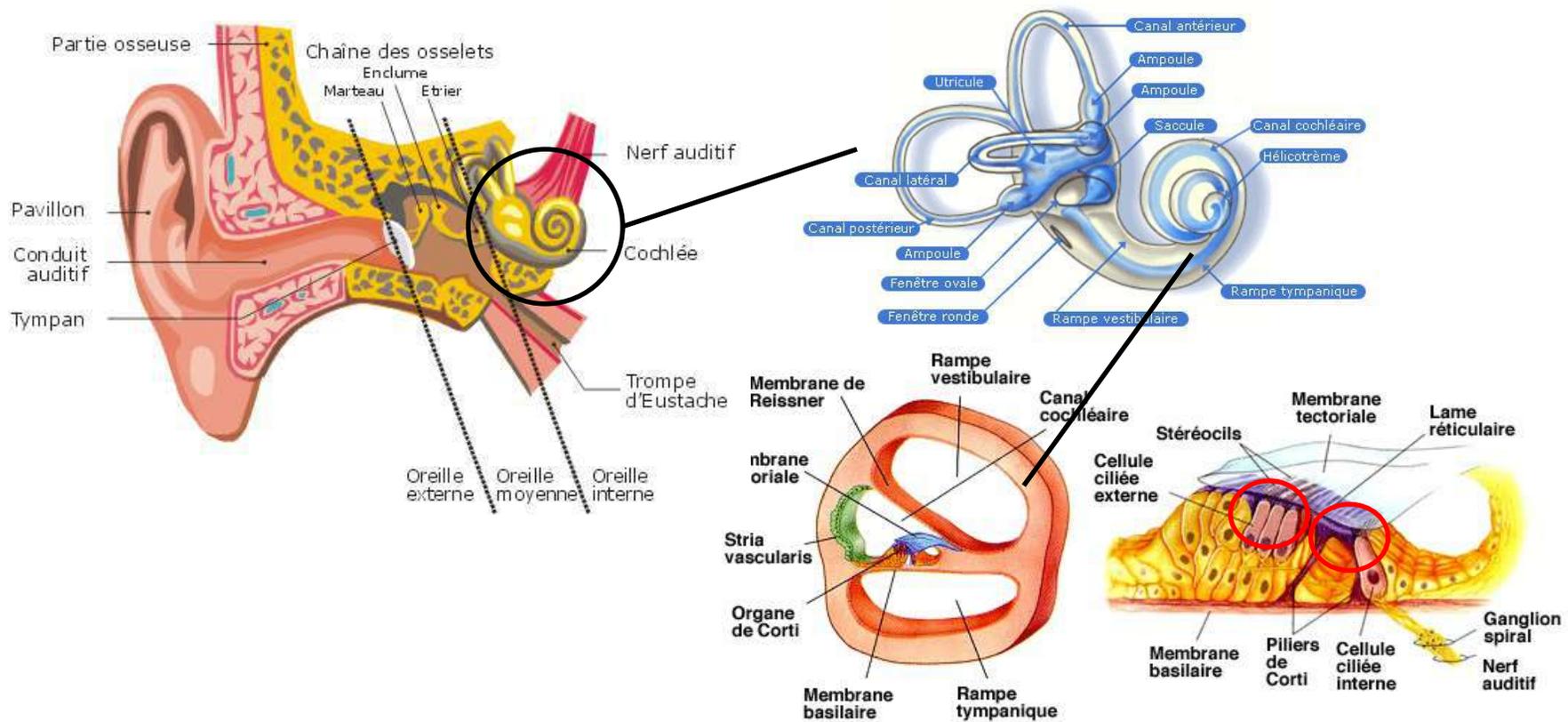
- **Approche pluridisciplinaire** : épidémiologie, psychologie, acoustique physique, psychoacoustique et physiologie de l'audition
- Étude épidémiologique : données de santé collectées (**questionnaire**) mais aussi **mesurées objectivement**
- Approche innovante de **synthèse sonore par modèle physique**
- Étude de la perception des SBF sur la base de **nouveaux modèles auditifs** (sonie)
- Étude du lien entre **gêne et sonie** et **gêne et modulation d'amplitude**
- Réalisation en laboratoire de **mesures physiologiques** des troubles homéostatiques invoqués comme explication des troubles provoqués par des IF inaudibles



***Merci de  
votre attention !!***

# Annexe 1 : effets cochléovestibulaires (1/2)

## Systeme cochléovestibulaire



# Annexe 1 : effets cochléovestibulaires (2/2)

## En laboratoire : Des réponses physiologiques du système cochléovestibulaire / stimuli IBF

### ➤ *Réponse physiologique non auditive du vestibule / IBF*

Connu chez l'être humain (test de potentiel évoqué otolithique - PEO) : réponses physiologiques suite à un signal impulsionnel BF à la base du vestibule

### Un infrason qui n'active pas les CCI<sup>1)</sup> (cellules sensorielles) peut activer les CCE<sup>2)</sup>

- *Modulation du signal audible par les infrasons (non directement audibles) via les CCE*
- *Induction d'un signal nerveux non-auditif par les CCE (stimulation « non classique »)*
- *Déséquilibre ionique et volumique des liquides cochléaires par une exposition prolongée à des IBF de fortes intensités*

<sup>1)</sup> cellules ciliées internes

<sup>2)</sup> cellules ciliées externes

## Références

- ANSES. Évaluation des Effets Sanitaires des Basses Fréquences Sonores et Infrasons dus Aux Parcs Eoliens, Saisine 2013-SA-0115: Avis de l'ANSES; Collective Expertise Report; French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety: Paris, France, 2017.
- OMS. Environmental Noise Guidelines for the European Region; World Health Organisation: Copenhagen, Denmark, 2018.
- Van Kamp I, van den Berg F. Health effects related to wind turbine sound: An update. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 9133.
- Ecotièrè D, Demizieux P, Guillaume G, Giorgis-Allemand L, Evrard AS. Quantification of Sound Exposure from Wind Turbines in France. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 23.
- Evrard AS, Ecotièrè D, Demizieux P, Giorgis-Allemand L, Guillaume G. Exposition de la population au bruit émis par les éoliennes en France métropolitaine. *Environnement, Risques et Santé*, In press (septembre 2022).
- Ecotièrè D, Demizieux P, Guillaume G, Giorgis-Allemand L, Evrard AS. Évaluation de l'exposition de la population de France métropolitaine au bruit des éoliennes. CFA2022/22, session Bruit des éoliennes.
- Evrard AS, Avan P, Champelovier P, Cotté B, Ecotièrè D, Gauvreau B, Giorgis-Allemand L, Marquis-Favre C, Meunier S. Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (RIBEoIH). CFA2022/79, session Bruit et Santé.



# Remerciements

- Agence Nationale de la Recherche qui finance ce projet RIBEOIH (ANR-19-CE36-0009)



- L'implication des équipes de l'Université Gustave Eiffel de Bron et de l'ENTPE s'inscrit dans le cadre du LabEx CeLyA (Centre d'Acoustique de Lyon, ANR-10-LABX-0060)



# Méthodes de mesures du bruit

- **Mesures d'impact acoustique**

- Protocole application obligatoire depuis 12/2021 (v1) et 03/2022 (v2), en application expérimentale en 2022 avec REX fin 2022
- Méthode harmonisée en application de la réglementation existante (<https://is.gd/JOZiPa>)

- Points notables :

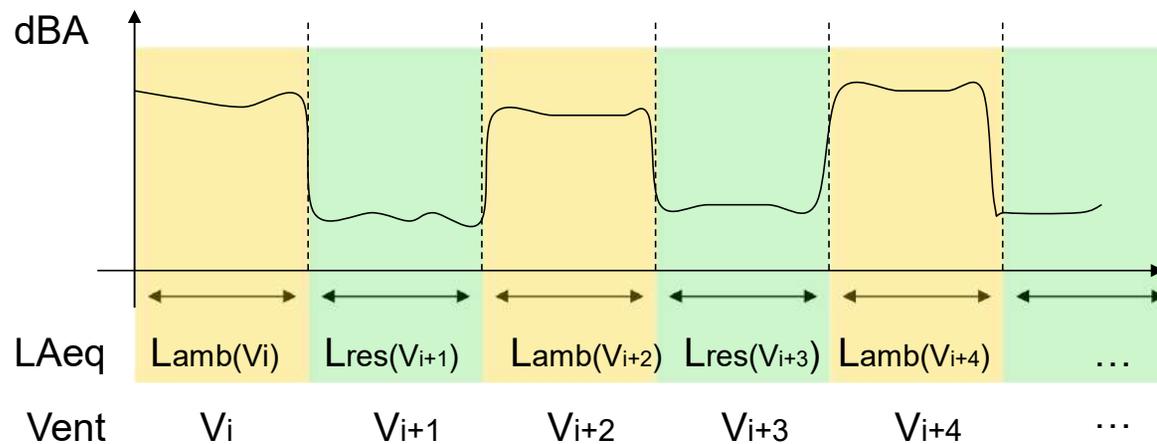
- Exigences sur le matériel
- Méthodes de mesure du vent
- Prise en compte du bruit du vent
- Critères de fonctionnement du parc
- Cadre de définition de situation-types
- Prise en compte des incertitudes



# Méthodes de mesures du bruit

- **Mesures d'impact acoustique**

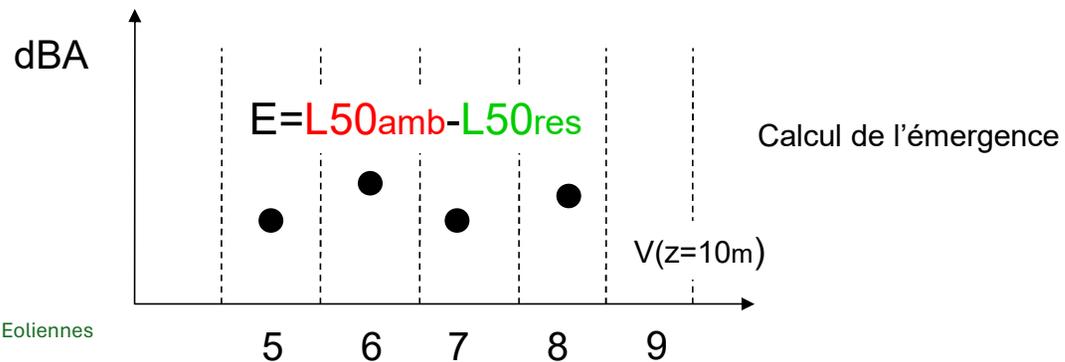
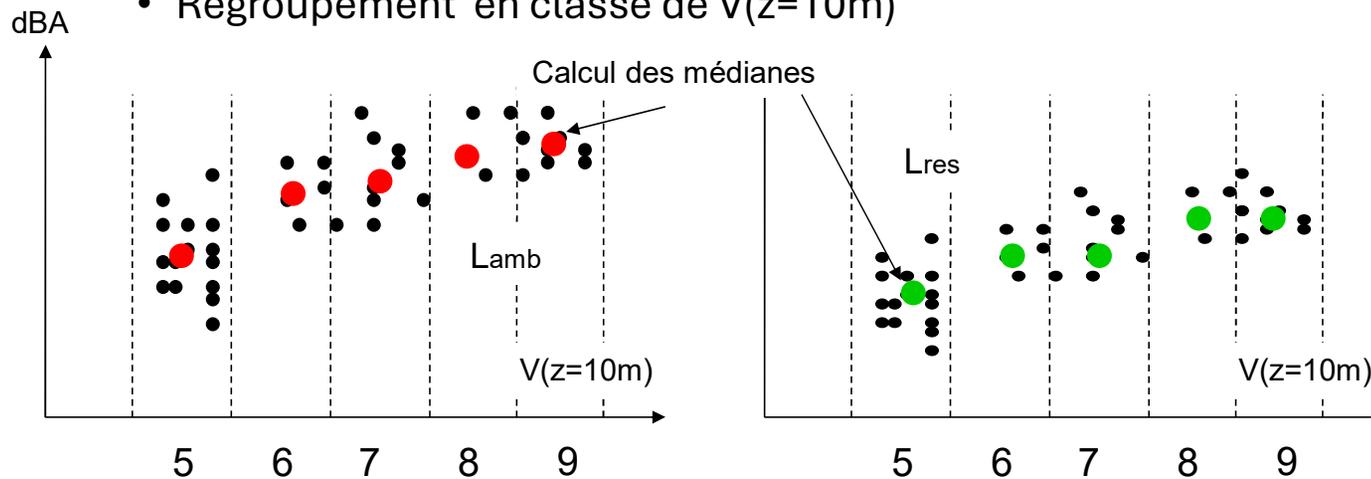
- Principe général : mesures consécutives de bruit ambiant et de bruit résiduel associées à des alternances marche/arrêt du parc



# Méthodes de mesures du bruit

- **Mesures d'impact acoustique : pratiques actuelles**

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



**Pour imaginer  
un avenir commun**

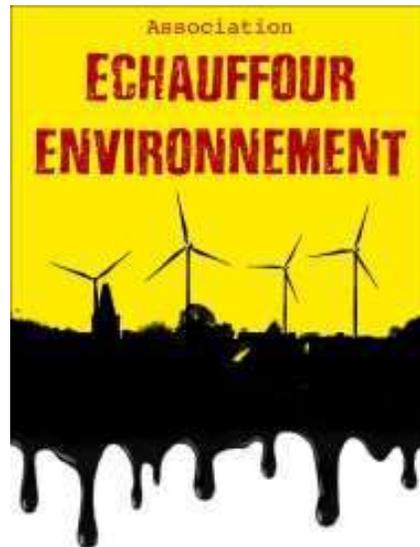
**Conférences & débats**



**Echauffour Environnement**

# LE BRUIT ÉOLIEN

Ou comment rendre réglementaires les nuisances sonores subies par les riverains pour pouvoir déployer massivement les machines sur le territoire français...



## Le plan idéal d'une présentation du sujet :

1. A QUOI SERT UNE ETUDE D'IMPACT ACOUSTIQUE ?
2. L'ACOUSTIQUE EST UN SUJET TECHNIQUE  
→ définitions et notions indispensables à la compréhension
3. CE QUE DOIT ETRE UNE ETUDE ACOUSTIQUE DE QUALITE
  - Une norme de mesurage d'application obligatoire
  - Des pratiques professionnelles n'offrant aucune latitude d'interprétation
  - Caractériser un environnement sonore en vue de statuer sur la conformité à la réglementation en vigueur
4. COMMENT AGIR A L'OCCASION DE L'ENQUETE PUBLIQUE ?

# A QUOI SERT UNE ETUDE D'IMPACT ACOUSTIQUE :

## AU POINT DE VUE DES RIVERAINS ET DE LA LOI :

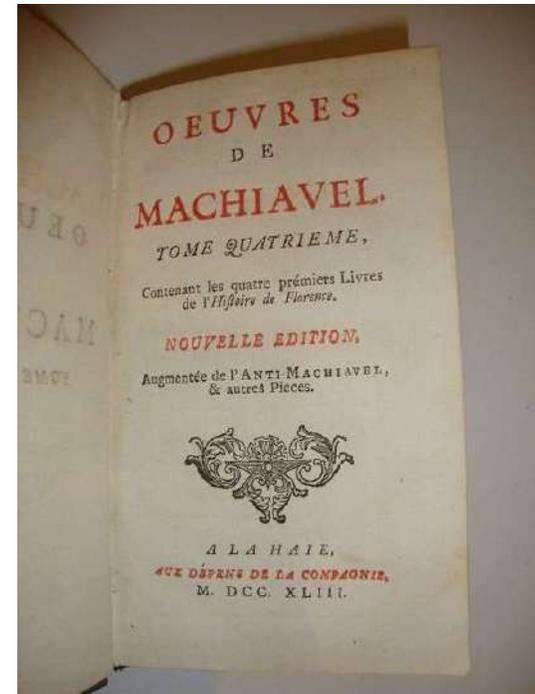
1. Prévenir, supprimer ou limiter la pollution sonore, soit l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement. (art. L 571-1 Code Environnement)
2. Être protégé au titre des intérêts mentionnés à l'art. L 511-1 du Code de l'environnement :  
*Sont soumis aux dispositions du présent titre les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, **soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques**, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation économe des sols naturels, agricoles ou forestiers, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique.*
3. Être protégé de tout trouble anormal de voisinage : R 1336-5 du Code de la Santé Publique  
*Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé ...*

A QUOI SERT UNE ETUDE D'IMPACT ACOUSTIQUE :

## AU POINT DE VUE DES ACTEURS DE LA FILIERE EOLIENNE :

### UN SEUL ENJEU :

Quelles stratégies **de toutes natures** peuvent-elles permettre de déployer ces machines à une distance minimale de 500m des habitations et éviter des arrêts et des bridages afin de ne pas perdre de productible ?



A QUOI SERT UNE ETUDE D'IMPACT ACOUSTIQUE :

## AU POINT DE VUE DES AGENTS DES SERVICES DE L'ETAT :

Le truc embêtant. Il faut faire avec, mais c'est embêtant.

Inspecteur de l'environnement, je ne suis pas compétent en acoustique. Mais il faut que je donne une réponse.

Alors, comment appliquer sans me mouiller l'art. L 571-1 du Code de l'Environnement ?

*« Prévenir, supprimer ou limiter la pollution sonore, soit l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement. »*



# L'ACOUSTIQUE EST UN SUJET TECHNIQUE

→ définitions et notions indispensables à la compréhension

Décibels

Décibels pondérés

Bruit ambiant

Bruits impulsionnels

Cumul de parcs

Normes NFS 31-xxx

Bruit résiduel

Émergences sonores

Zones à émergence réglementée

Émergences spectrales

Tonalité marquée

Indices fractiles

# Les décibels, notés « dB »

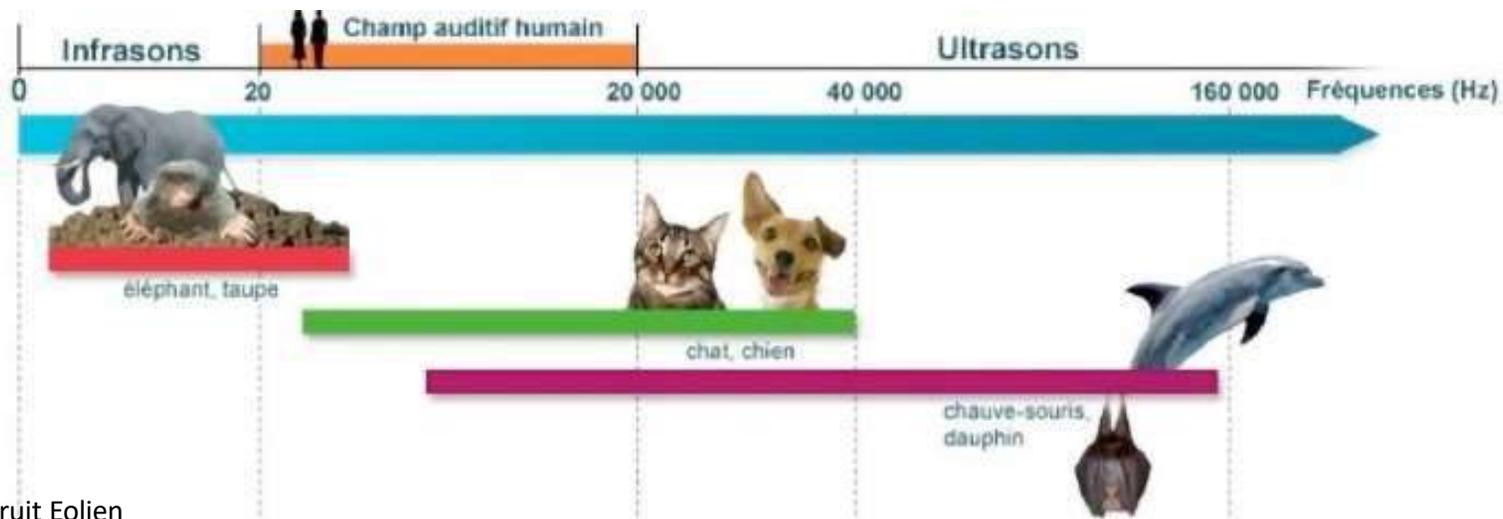
L'**intensité** d'un son, ou son **niveau sonore**, s'exprime en décibels (nom donné en hommage à Alexander Graham Bell, l'inventeur du téléphone).



© Groupe Expert Bruit Eolien

# Les décibels pondérés A, notés dB(A)

L'oreille humaine étant moins sensible aux fréquences hautes et basses des ondes sonores, les acousticiens appliquent un **filtre de pondération « A »** pour centrer leurs mesures sur les fréquences de nos voix et de nos conversations (entre 20 et 20 000 hertz).



# MAIS :

- Appliquer d'autorité ce filtrage « A » - dB(A) aux mesures acoustiques des éoliennes c'est oublier qu'un être humain reçoit, perçoit et ressent les vibrations sonores bien plus largement que dans les seules bandes de fréquences conversationnelles.



# Ce serait comme dire que :

- Dans un concert donné par un orchestre symphonique, il suffirait de ne garder que le piano pour rendre compte de l'orchestration...

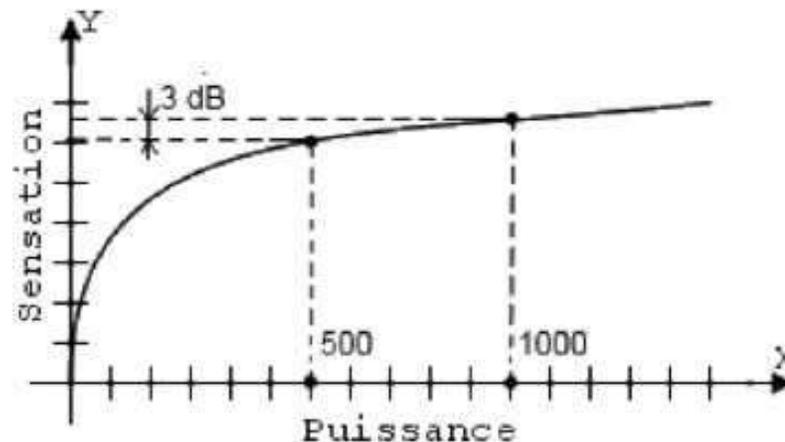


# Les dB : une échelle de mesure non linéaire

**L'échelle de mesure en décibels n'est pas linéaire mais logarithmique.**

En effet, une variation de l'intensité d'un son sera toujours perçue dans une moindre proportion par notre système auditif.

**C'est une particularité physiologique de l'oreille humaine.**



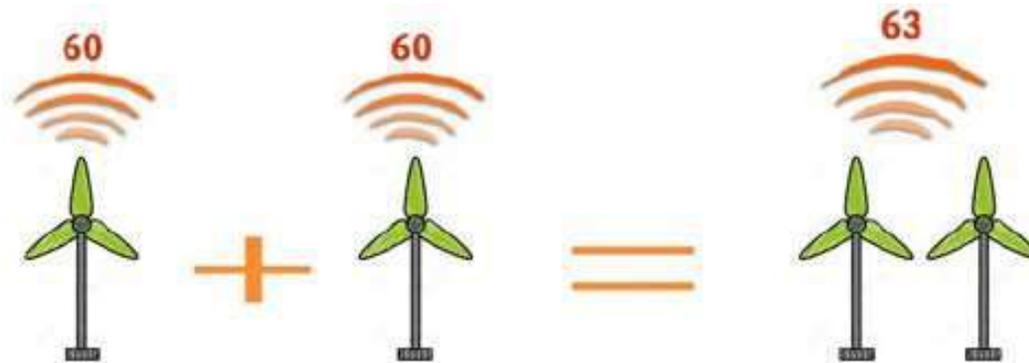
## Ainsi, une augmentation du bruit de :

- **+3 dB** correspond en réalité à un **doublement (x2)** de l'intensité sonore.
- **+5 dB** correspond en réalité à un **triplement (x3)** de l'intensité sonore.
- **+10 dB** correspond en réalité à un **décuplement (x10)** de l'intensité sonore.

# Multiplication des sources de bruit

Les décibels ne s'additionnent pas, elle se composent...

Dit autrement, « l'addition » de 2 sons d'un niveau de 60 dB chacun n'équivaut pas à 120 dB mais à bien à **63 dB**.

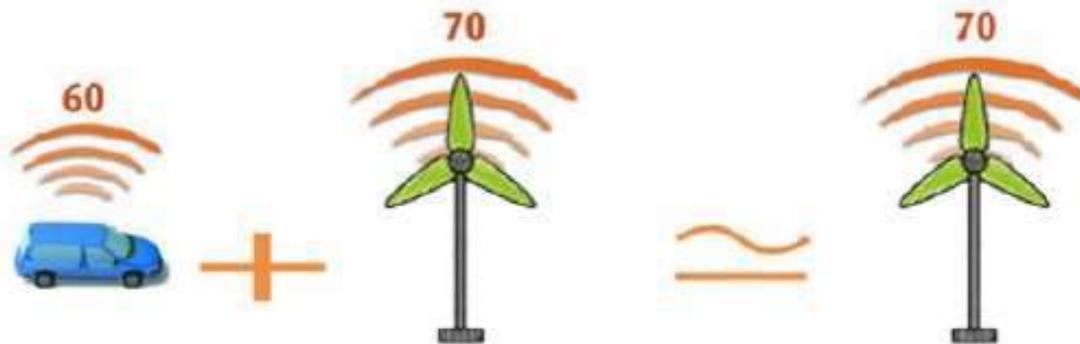


Ceci revient à dire que lorsque le trafic routier, par exemple, diminue de moitié, le gain acoustique sera de **- 3 dB**.

# L'effet de masque

Lorsqu'il y a **10 dB d'écart** entre 2 sources sonores, on ne perçoit que la source qui a le plus fort niveau.

**C'est « l'effet de masque ».**



**Ainsi, quand les émergences sonores des éoliennes dépassent 10 dB, leur bruit s'impose et domine alors tout l'espace sonore.**

# L'émergence sonore

Pour mesurer l'intensité d'un bruit particulier dans l'environnement, les acousticiens utilisent la notion d'**émergence**.

L'**émergence** est la différence entre le **niveau sonore** dit « **ambient** » (incluant la source du bruit incriminée) et le **niveau sonore** dit « **résiduel** » (en l'absence de la source du bruit incriminée).



# Le régime dérogatoire éolien

- Le **CODE DE LA SANTE PUBLIQUE** fixe à **30 dB(A)** le seuil à partir duquel on recherche les émergences sonores d'un bruit particulier (trouble anormal de voisinage).
- Mais, depuis les **ARRÊTÉS MINISTÉRIELS du 26 août 2011**, les **exploitants éoliens bénéficient d'un régime dérogatoire** pour déclencher une mesure obligatoire des émergences sonores de leurs machines : pour eux, le seuil a été fixé à **35 dB(A)** de jour et de nuit...
- Cela signifie que les opérateurs ont droit d'émettre 5 dB(A) de bruit de plus que les autres, soit une intensité sonore **multipliée par trois (x3)**, avant d'être obligés de rechercher leurs émergences sonores.

## 35 dB(A) : le seuil qu'il faut dépasser pour avoir le droit de se plaindre du bruit des machines

Il faut bien comprendre que ce niveau de **35 dB(A)** n'est qu'un seuil à **partir duquel** il devient possible de rechercher à caractériser les émergences des installations.

**Tant que la mesure du bruit ambiant ne dépasse pas ce seuil de 35 dB, aucune émergence (même réelle) ne pourra être caractérisée légalement.**

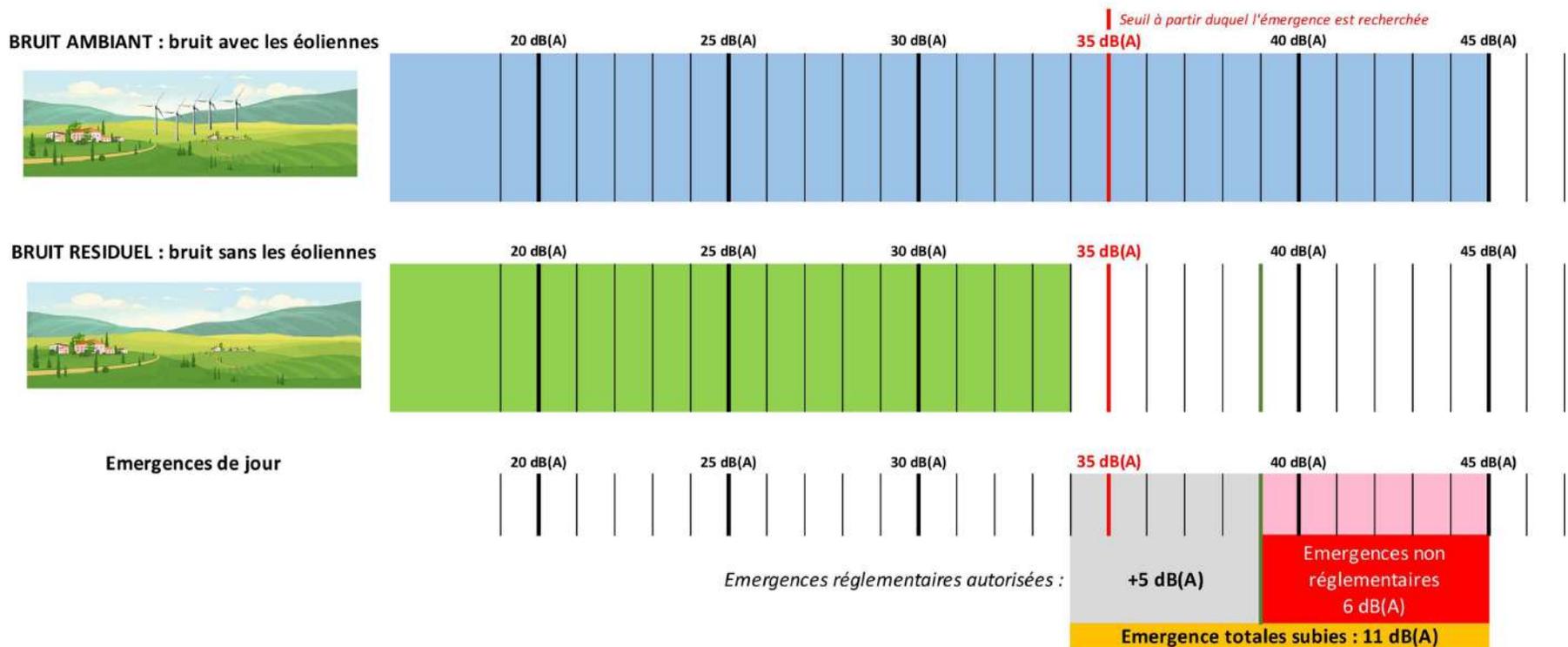
# Les émergences « réglementaires » autorisées

- La **réglementation éolienne**, fixée par les arrêtés ministériels du 26 août 2011 et modifiés, **autorise** les installations éoliennes à générer des **émergences sonores de +5dB(A) durant la journée** et de
  - **+3dB(A) pendant la nuit.**
- Article 26
- L'installation est construite, équipée et exploitée de façon telle que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou solidienne susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage.
- Les émissions sonores émises par l'installation ne sont pas à l'origine, dans les zones à émergence réglementée, d'une émergence supérieure aux valeurs admissibles définies dans le tableau suivant :

<p><b>NIVEAU DE BRUIT AMBIANT EXISTANT</b></p> <p>dans les zones à émergence réglementée</p> <p>incluant le bruit de l'installation</p>	<p><b>ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE</b></p> <p>allant de 7 heures à 22 heures</p>	<p><b>ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE</b></p> <p>allant de 22 heures à 7 heures</p>
<p>Sup à 35 dB (A)</p>	<p>5 dB(A)</p>	<p>3 dB(A)</p>

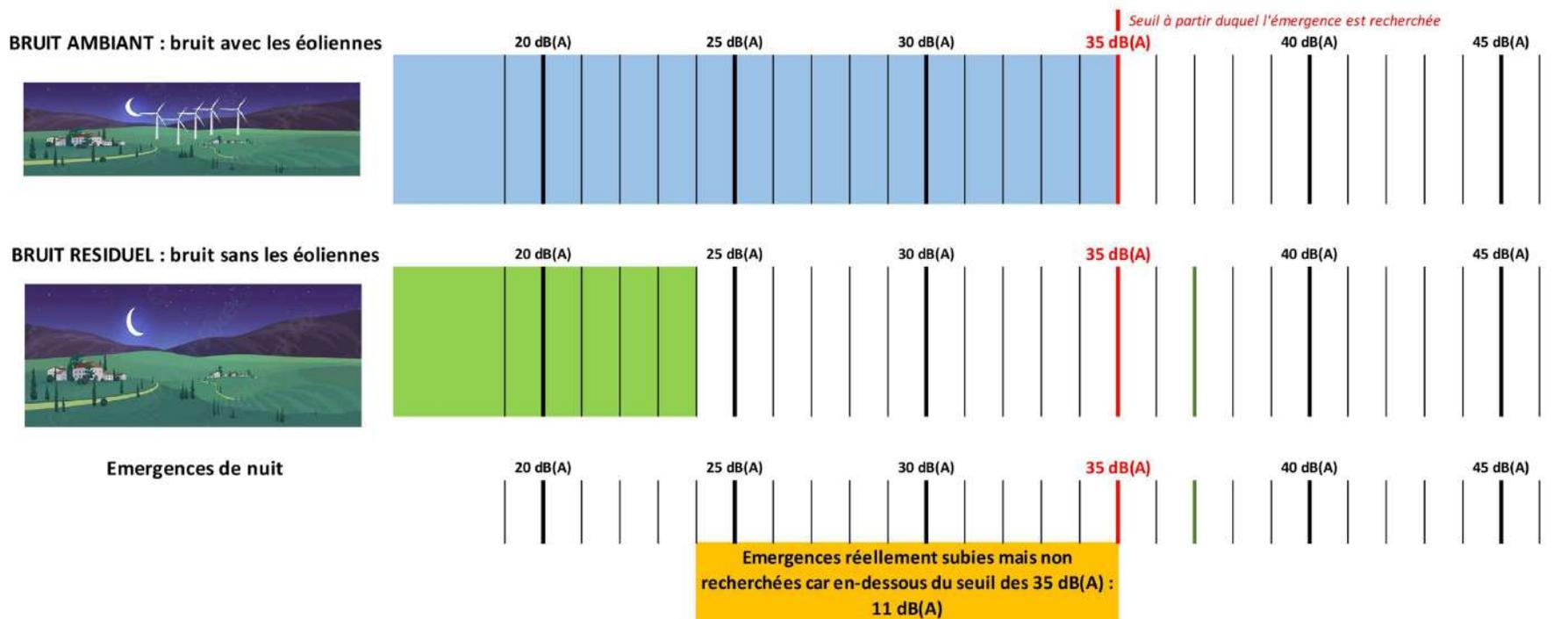
# Prenons un exemple pour la journée :

## CALCUL DES EMERGENCES SONORES DE JOUR



# Prenons un exemple pour la nuit :

## CALCUL DES EMERGENCES SONORES DE NUIT



# La modification de la notion d'émergence : la forfaiture de la médiane

Les arrêtés ministériels du 26 août 2011 introduisent aussi **une dangereuse modification de la notion d'émergence telle qu'elle est retenue dans le Code de la santé publique** : après avoir calculé la différence de bruit entre chaque mise en route et chaque arrêt des machines, puis classé par vitesses de vent les émergences unitaires qui en résultent, elle détermine statistiquement la médiane de ces émergences sur la période considérée.

Exit le calcul des émergences sur le fondement de l'article R 1336-7 du Code de la Santé Publique :  
« *L'émergence globale dans un lieu donné est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause.* »

**Au bénéfice d'un indicateur d'émergence spécifiquement éolien, sans la moindre source règlementaire.**

# La

## médiane

La médiane est **la valeur centrale** d'une série de données, déterminée de telle sorte qu'elle écarte 50 % des valeurs qui lui sont inférieures et 50 % de celles qui lui sont supérieures.

Grâce à cet **artifice statistique**, **une centrale éolien peut donc fonctionner en toute légalité en dépassant les seuils réglementaires** fixés par les arrêtés ministériels...



## LE CALCUL STATISTIQUE DES EMERGENCES SONORES PAR LA METHODE DE LA MEDIANE :

Dix mesures en dB sont effectuées avec un sonomètre pendant une journée :

7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h
21 dB	27 dB	44 dB	28 dB	24 dB	52 dB	54 dB	37 dB	29 dB	43 dB

Pour déterminer la médiane on classe ces valeurs par ordre croissant :

21	24	27	28	29	37	43	44	52	54
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

La médiane est la valeur centrale d'une distribution.

Comme il y a un nombre pair de valeurs, on a donc 2 valeurs centrales.

La médiane est alors la moyenne de ces deux valeurs.

21	24	27	28	<b>29</b>	<b>37</b>	43	44	52	54
----	----	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----

La valeur médiane est donc :

**33 dB**

*en dessous donc du seuil réglementaire de 35 dB(A)*

# C'est comme

# Si...

- La F.P.I.C.L.F. (Fédération des Promoteurs Immobiliers Construisant sur le Littoral Français) faisait prendre à l'Etat français la décision de :
  - **n'accorder des permis de construire en bord de mer qu'en se basant sur la hauteur moyenne annuelle des marées.**

Ce secteur de la construction connaîtrait alors une très forte croissance et une grande prospérité, mais **les nouveaux propriétaires de ces bâtiments passeraient ensuite une partie de l'année sous l'eau.**



# Etat actuel de la « non » réglementation acoustique française

Le **Conseil d'État a sanctionné**, ce 8 mars 2024, les différents protocoles de mesure de l'impact acoustique des éoliennes au motif qu'ils n'avaient pas fait l'objet d'une consultation du public préalablement à leur approbation par le ministre chargé des installations classées.

Le précédent projet de norme acoustique « Pr NFS 31-114 » de l'arrêté du 26 août 2011 se trouve du même coup privée de toute référence légale depuis le 10 décembre 2021, en raison de son remplacement par les différents protocoles qui viennent d'être sanctionnés par le Conseil d'État pour un motif qui l'entache elle-même d'illégalité. En effet, **l'état de projet, qu'elle n'a jamais dépassé**, lui avait interdit toute consultation du public ou évaluation environnementale.

**La norme de référence pour les bruits de l'environnement, y compris des ICPE, est la NF S31-010, qui redevient, de facto, la seule norme légale pour mesurer le bruit éolien.**



**Merci de votre  
attention**

NOTRE SITE: [www.vallees-orne-odon.fr](http://www.vallees-orne-odon.fr)

Communauté de Communes Vallées de l'Orne et de l'Odon

