

Évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens



***Restitution de l'expertise
- 30 mars 2017 -***



Plan de la présentation

Introduction : contexte de la demande d'expertise

➤ **Organisation de l'expertise**

Groupe de travail, CES, commandes de travaux externes (CIDB, CNRS)
Déroulement de l'expertise (réunions, auditions, etc.)

➤ **Campagnes de mesures**

Sélection des parcs éoliens étudiés
Détermination du protocole de mesure
Résultats

➤ **Revue des connaissances des effets sanitaires des IBF¹⁾**

Méthode de travail
Analyse

➤ **Conclusions et recommandations**

Synthèse des éléments de preuves disponibles
Conclusions et recommandations



Introduction : travaux précédents

Académie de Médecine (2006) :

Recommandation de classification des parcs éoliens en « zone industrielle » et **distance minimale d'éloignement de 1 500 m** des habitations.

DGPR¹⁾ + DGS²⁾

Rapport Afsset (2008)

« Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes »

La considération d'un unique critère tel qu'une distance systématique d'éloignement éoliennes – habitation n'est pas pertinente au regard de l'impact acoustique d'un projet éolien



Nécessité de déterminer un périmètre géographique d'éloignement reposant sur une étude acoustique locale considérant les spécificités locales

1) Direction générale de la prévention des risques

2) Direction générale de la santé



Introduction : évolution du contexte depuis 2008

Des évolutions réglementaires ...

- Distance d'implantation minimale systématique de 500 m de toute habitation
- Intégration des éoliennes dans le champ des ICPE¹⁾

- L'implantation de parcs éoliens est plus encadrée administrativement
- Étude d'impact acoustique : des seuils de bruit audible (en dBA) à respecter
- Des plaintes gérées par les services du Ministère chargé de l'environnement (DREAL²⁾)

... et des plaintes

plaintes relatives à la gêne liée spécifiquement aux **infrasons et basses fréquences** du bruit généré par les éoliennes

- ➔ Relatives à un domaine des nuisances sonores *à priori* non pris en compte par la réglementation



Introduction : nouvelle saisine (juin 2013)

But : Réaliser un état des connaissances concernant les **effets sanitaires potentiels des basses fréquences et infrasons** des parcs éoliens

Des travaux en 4 étapes :

- 1)** Revue des connaissances bibliographiques relations santé / effets extra-auditifs des parcs éoliens, en particulier pour les basses fréquences et infrasons
- 2)** Revue des réglementations mises en œuvre dans d'autres pays
- 3)** Mesures de l'impact sonore de parcs éoliens, en prenant en compte les basses fréquences et infrasons, notamment pour les sites où une gêne est signalée
- 4)** Proposer des pistes d'améliorations concernant
 - la réglementation
 - la prise en compte des éventuels effets sanitaires dans les études d'impacts des projets de parcs éoliens



Revue réglementaire (CIDB¹)

➤ Une absence d'harmonisation réglementaire au niveau européen

Des réglementations et des cadres réglementaires très différents suivant les pays

➤ Peu de prises en compte des IBF

- malus appliqué en cas de présence d'une forte composante BF (indice harmonique)
- considérations de courbes seuils ou de seuils par tiers d'octaves (proche des seuils d'audibilité)

➤ Les émergences de bruit : une spécificité française

Souvent considéré comme plus simple à appréhender pour les riverains
... mais techniquement plus complexe à mesurer

➤ Distances minimales d'éloignement

Peu de pays définissent de telles distances et pour des justifications très différentes (sécurité, impact visuel, etc.)

- Allemagne : 300-1 000m (logements isolés) / 500-1 000m (zones résidentielles) – **dépendant des Länder**
- Danemark : 2 **groupes d'éoliennes** doivent être séparés de 2,5 km
- Pays-Bas : 4x hauteur de l'éolienne (≈ 400m)
- Suisse : 300m
- Canada / Ontario : 550m



Organisation de l'expertise

Expertise réalisée par un **groupe de travail** (GT) multidisciplinaire de 8 experts placé sous l'égide du **CES**¹⁾ « *Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements* »

- **Pluridisciplinarité** : acousticiens en métrologie sonore, réglementation, psychoacousticiens, épidémiologiste, spécialistes de la physiologie/médecine
- **Compétence**
- **Indépendance** : déclarations publiques d'intérêt vérifiées tout au long de l'expertise

Norme NFX 50-110 : qualité en expertise

L'expertise en quelques chiffres

- 3 ans de travail (avril 2014 - octobre 2016)
- 28 réunions + 2 conférences téléphoniques
- 10 auditions :
 - spécialistes scientifiques (3)
 - riverains (2) et associations de riverains (2)
 - industriels et syndicats de l'industrie de l'éolien (3)
- 2 commandes de travaux externes
 - CIDB²⁾ : revue des réglementations
 - CNRS –Cired³⁾ : analyse socioéconomique du contexte éolien
- 3 sites éoliens étudiés

1) Comité d'experts spécialisés

2) Centre international de recherche sur l'environnement et le développement

3) Centre d'information et de documentation sur le bruit (Association loi 1901 à but non lucratif, reconnue d'utilité publique)



Organisation des campagnes de mesures

1- Organisation de l'expertise



Financement direct par la DGPR



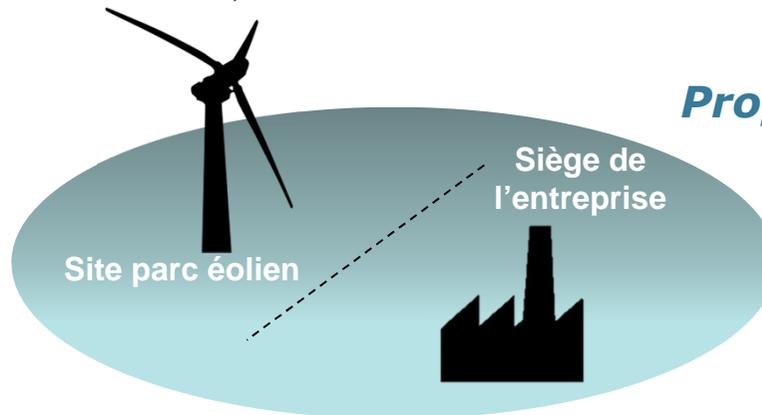
GT Anses

Pilotage scientifique par le GT Anses



Cerema¹⁾

Réalisation par un centre technique (établissement public), spécialiste reconnu des mesures acoustiques des éoliennes



Propriétaires - exploitants

Propriétaires et exploitants informés **uniquement** après réalisation des mesures acoustiques



Méthode : campagnes de mesures

Sélection des parcs éoliens

- Diversité des configurations des parcs éoliens et des situations
- Néanmoins des caractéristiques techniques fréquemment rencontrées
- Riverains gênés / non gênés ?
- Nb limité de parcs à étudier (financement et temps restreints)



Décision concertée GT / CES :

Des mesures plus complètes à temps long sur un nombre restreint de situations pertinentes

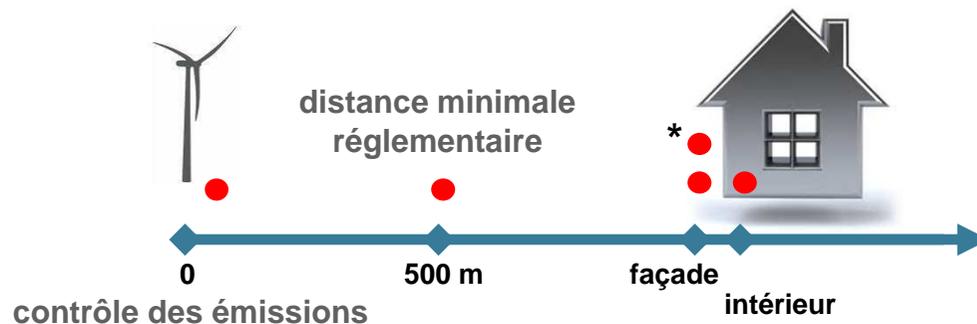


Une documentation pour des situations pertinentes, pas des résultats représentatifs

➤ 3 sites

- Site 1 : parc « majorant », typique des futures machines (IBF ++)
- Site 2 : parc « classique » avec plaintes
- Site 3 : parc « classique » sans plaintes

➤ 4 points de mesure / site





Exposition : campagnes de mesures (1/2)

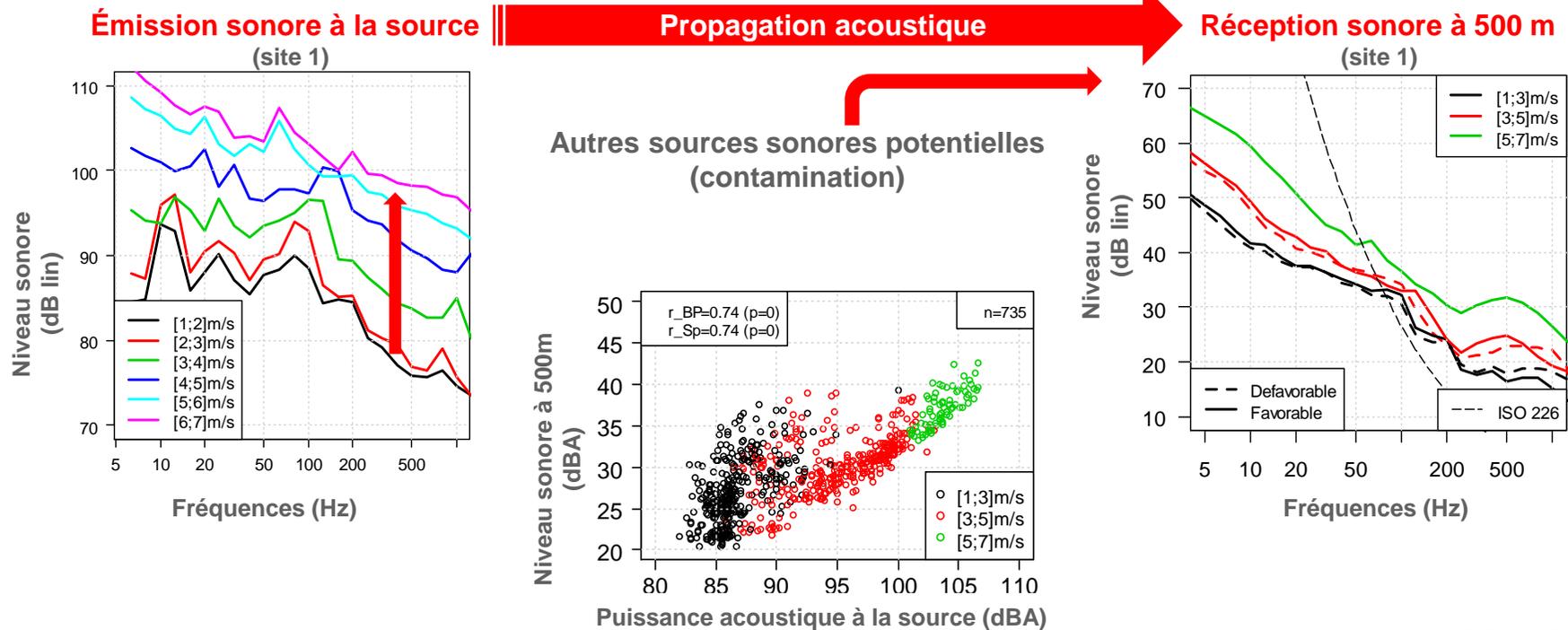
➤ Des caractérisations acoustiques complexes

(météorologiques, organisationnelles et relatives aux spécificités de la source)

➤ Des mesures en cohérence avec celles de la littérature scientifique

- Un spectre riche en IBF avec une forme de spectre caractéristique
- Une dynamique du signal classique (fonction notamment de la vitesse de vent)

2- Campagnes de mesures



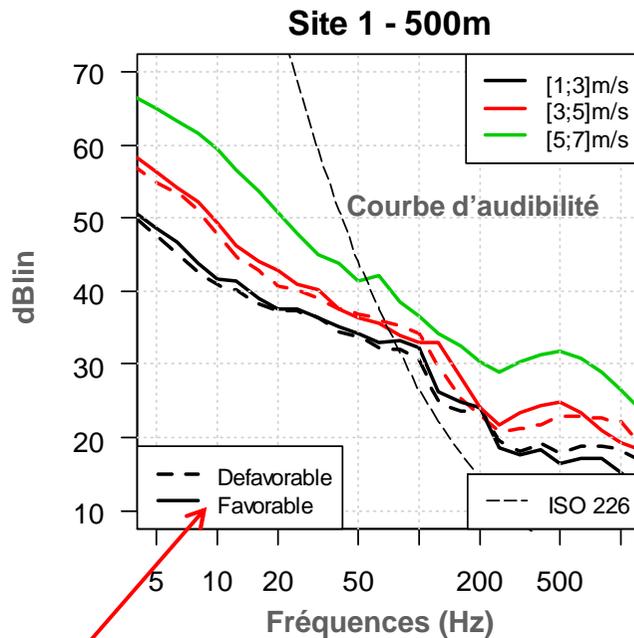
Indicateur : L_{-50} , périodes de 10 min



Exposition : campagnes de mesures (2/2)

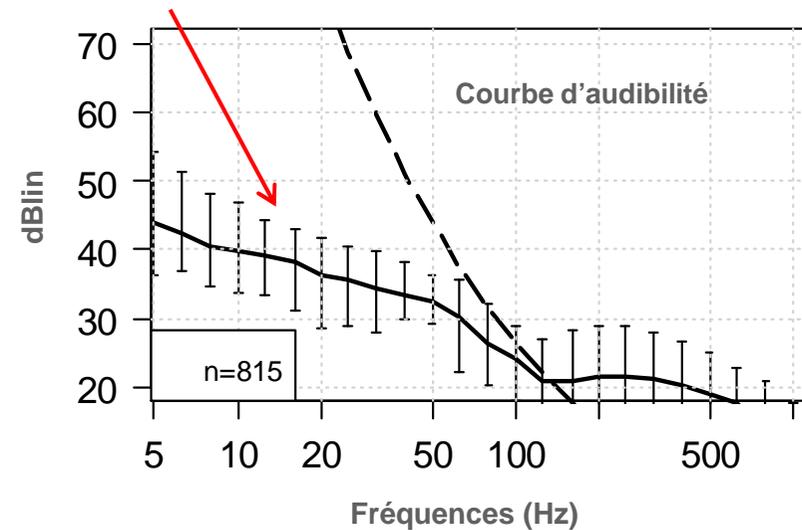
Campagnes de mesures

➤ Niveaux sonores et spectres comparés aux seuils d'audibilité



Conditions de propagation acoustique

Intervalles contenant 75% des échantillons autour de la médiane



Spectre médian
(tous régimes de vents confondus)

**Aucun dépassement constaté des seuils d'audibilité / infrasons
(à 500m, en façade et à l'intérieur des habitations)**

Le bruit éolien est audible à partir de fréquences situées au-delà des infrasons



Méthode : revue de littérature (1/2)

1 - Recherche bibliographique

Recherche classique par mots clés sur moteurs de recherche (liste documentaire régulièrement actualisée entre 2014 et 2016) + identification de documents de proche en proche

2 – Tri et analyse

Liste documentaire imposante (**600 documents !**) classée :

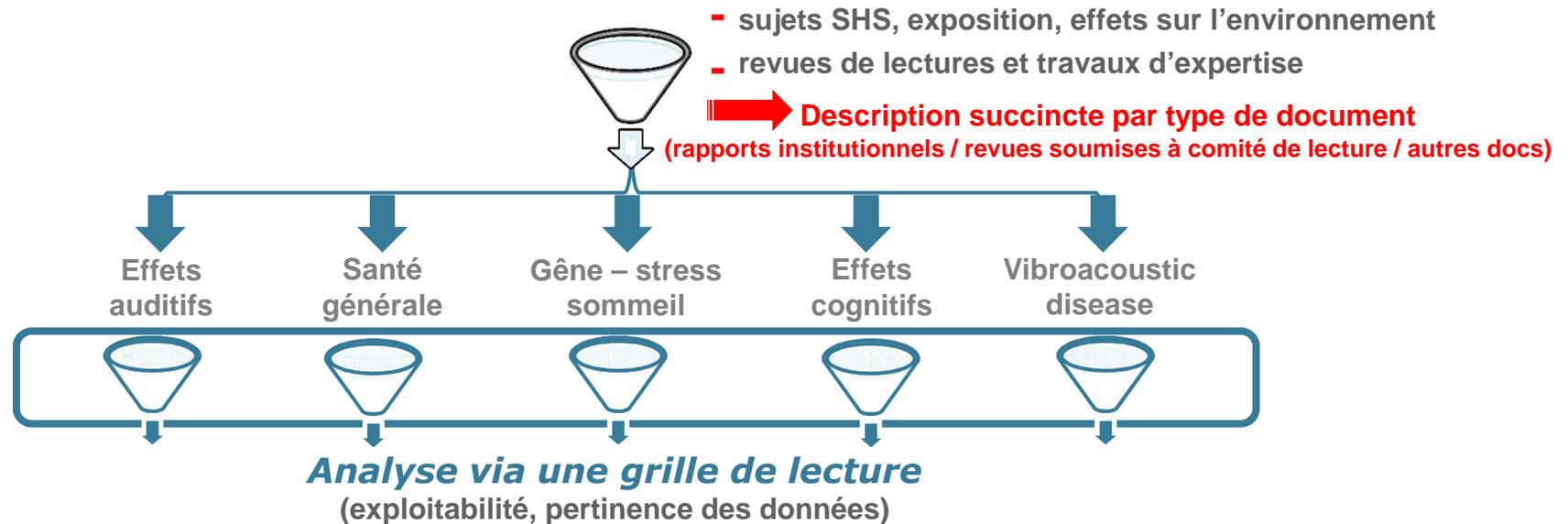
- Par type d'effet étudié
- Par type de bruit étudié (BF, infrasons, audible, ...)
- Par type de source de bruit considérée (éoliennes, transports, professionnel, ...)
- Par type de document (étude, revue, *proceeding*, etc.)

Seuls les documents sources traitant d'effets sanitaires ont été analysés individuellement, à l'aide d'une grille de lecture.

3 – Synthèse des documents analysés



Méthode : revue de littérature (2/2)



➔ Données épidémiologiques

Très peu de données / IBF des éoliennes ➔ Inclusions de toutes les études / exposition bruit éolien

➔ Mécanismes cochléaires

Inclusion des données de qualité jugée suffisante / IBF de toutes sources sonores

➔ Données expérimentales

Inclusion des données / IBF éolien + données de qualité jugée suffisante / IBF autres sources pertinentes

➔ Pathologies environnementales (VAD, WTS)

Données de faible qualité scientifique mais sujet important à traiter : analyse de l'ensemble à part



Constat relatif au contexte éolien

➤ *Des tensions socio-économiques autour des éoliennes (Cired – CNRS)*

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 facteur d'opposition parmi d'autres :

- Impacts sur le paysage, l'environnement et **le bien être**
- Distribution des coûts et bénéfices
- Équité du processus de décision
- La stratégie d'implantation du projet

➤ *État des lieux des préoccupations sanitaires*

Il existe de réelles situations de mal-être

Une caractérisation complexe de la situation

- Quantification complexe des plaintes ou gênes / aux IBF des éoliennes
- Des distinctions techniques entre bruit audible, bruit non audible, IBF, ...
- Confusions possibles entre BF, infrasons, et modulation d'amplitude du bruit audible
- Absence d'argument fort pour relier ressentis et IBF non audibles
- Décalage manifeste entre nb réel de cas et informations relayées

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

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



Focus sur ces préoccupations sanitaires

Revue des préoccupations sanitaires

➤ *Vibroacoustic disease (VAD)*

Définie par une unique équipe de recherche, désigne un mécanisme biologique particulier qu'elle relie à l'exposition aux IBF (croissance dans les matrices extracellulaires de fibres de type collagène et élastine, en l'absence de tout processus inflammatoire)

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

- biais méthodologiques majeurs des quelques études sources, résultats non cohérents avec d'autres travaux
- travaux d'une seule équipe s'autocitant, publiant le plus souvent des synthèses et dans des revues non soumises à comité de lecture
- mécanisme d'effet non cohérent

➤ *Syndrome éolien (WTS)*

Essentiellement une liste de symptômes (non spécifiques)

Un syndrome lié à l'exposition aux éoliennes (pas spécifiquement aux IBF)

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

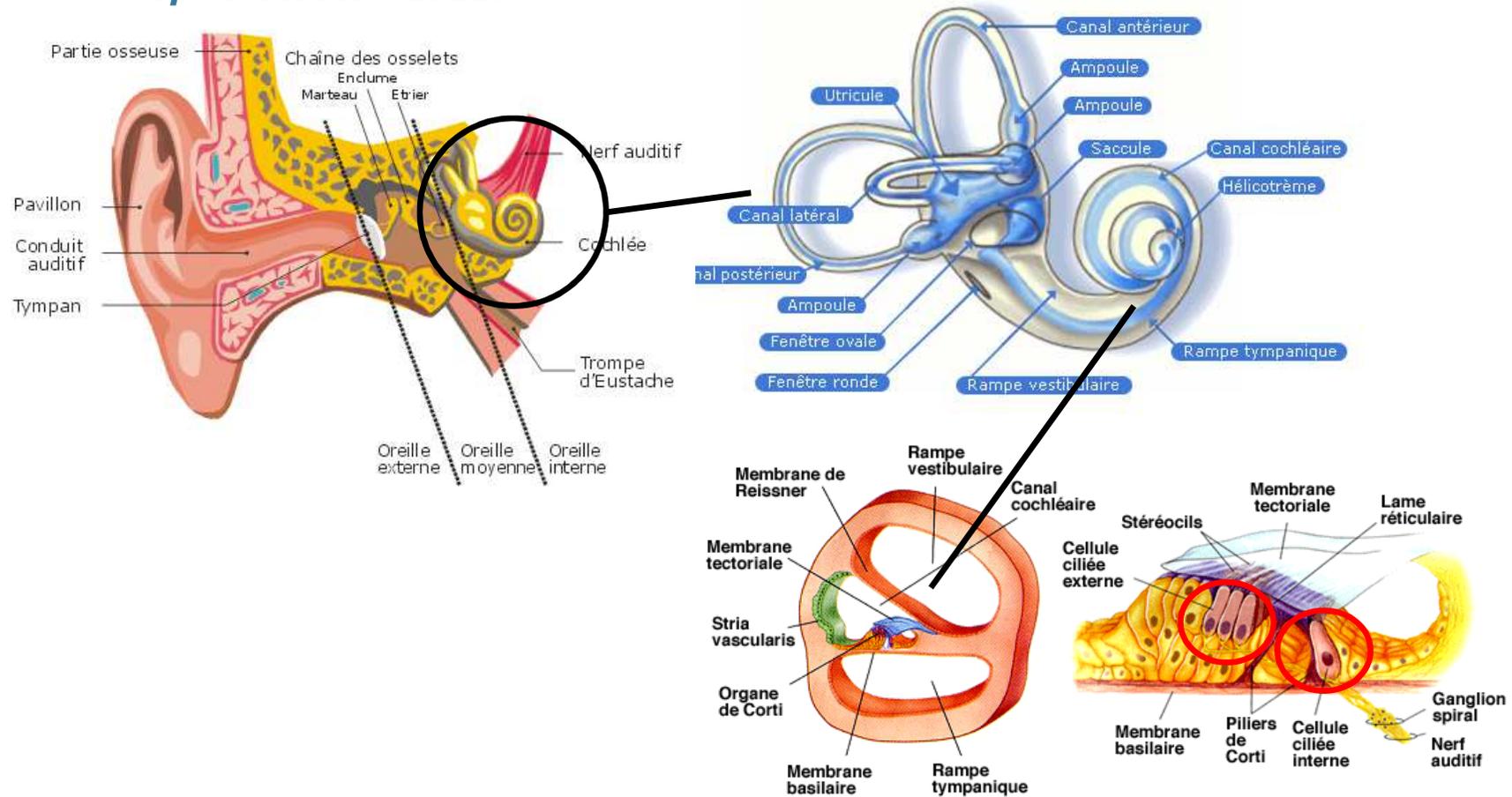
➤ *Effets cochléovestibulaires*



Étude des effets cochléovestibulaires (1/4)

Systeme cochléovestibulaire

➔ *L'appareil cochléovestibulaire constitue le détecteur le plus sensible du corps humain aux IBF*



➔ *En laboratoire : des réponses physiologiques suite à des stimuli IBF inaudibles*



Étude des effets cochléovestibulaires (2/4)

Expériences en laboratoire : réponses du système cochléovestibulaire / stimuli IBF

➤ *Réponse non auditive du vestibule / IBF*

Connu chez l'être humain (test de potentiel évoqué otolithique - PEO) : réponses physiologiques suite à un signal impulsionnel BF (centré 100Hz, 15 dB en dessous du seuil d'audition pour les BF) à la base du vestibule

➡ Conflit sensoriel possible ? (type « mal des transports »)

- Questions :
- Quelles réponses vestibulaires à quelles intensités ? Notion de seuil ?
 - Quelle prise en compte des IBF endogènes de fortes intensités (respiration, pouls, marche, etc.) ?
 - Filtrage des IBF oreille externe et moyenne / bruit de l'environnement ?

➤ *Modulation du signal audible par les infrasons (non directement audibles) via les CCE¹)*

Observé chez l'être humain pour de forts niveaux d'infrasons (100 dB environ)

Des particularités anatomiques qui pourraient prédisposer à des modulations de plus grandes intensités

➡ Gêne liée au bruit audible accrue ?

- Questions :
- Seuil d'intensité du stimulus pour provoquer cet effets ?



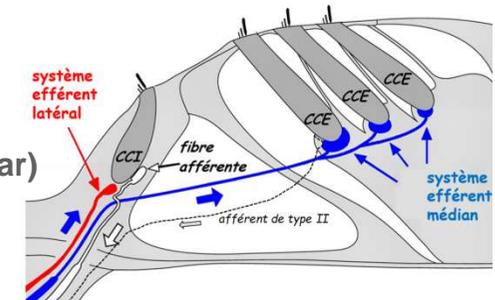
Étude des effets cochléovestibulaires (3/4)

► Induction d'un signal nerveux non-auditif par les CCE (stimulation « non classique »)

Codage des IBF (forte intensité) par les neurones cochléaires des CCE vers le SNC¹⁾
Observé sur un modèle animal, normalement extrapolable à l'être humain.



- Questions :
- Seuil d'intensité pour déclencher cet effet ? (courbe de Salt et Hullar)
 - Signification de ce signal non-auditif ?
 - Un effet lié à ce signal ? Gêne ? Pathologie ? Perception ?



Un infrason inaudible qui n'active pas les CCI peut activer les CCE

► Déséquilibre ionique et volumique des liquides cochléaires par une exposition prolongée à des IBF de fortes intensités

Hydrops réversible observé chez l'animal suite à une exposition longue (200Hz, 115 dB) liée à une perturbation de l'homéostasie cochléaire (certaines anomalies anatomiques anodines pourraient expliquer des activations plus fortes)

► Pathologies de type maladie de Ménière* ?

- Questions :
- Existence de cet effet physiologique pour des fréquences plus faibles et intensités moindres ?
 - S'il y a effet physiologique, quelle pathologie(s) ? (mécanisme peu clair et à priori multifactoriel)

*Maladie d'origine inconnue, attribuée à l'existence d'un hydrops unilatéral. Elle ne fait l'objet que de conjectures et est définie par la survenue de crises symptomatiques (surdité neurosensorielle fluctuante, vertige rotatoire, bourdonnements, sensation « oreilles pleines », signes végétatifs associés au vertige)

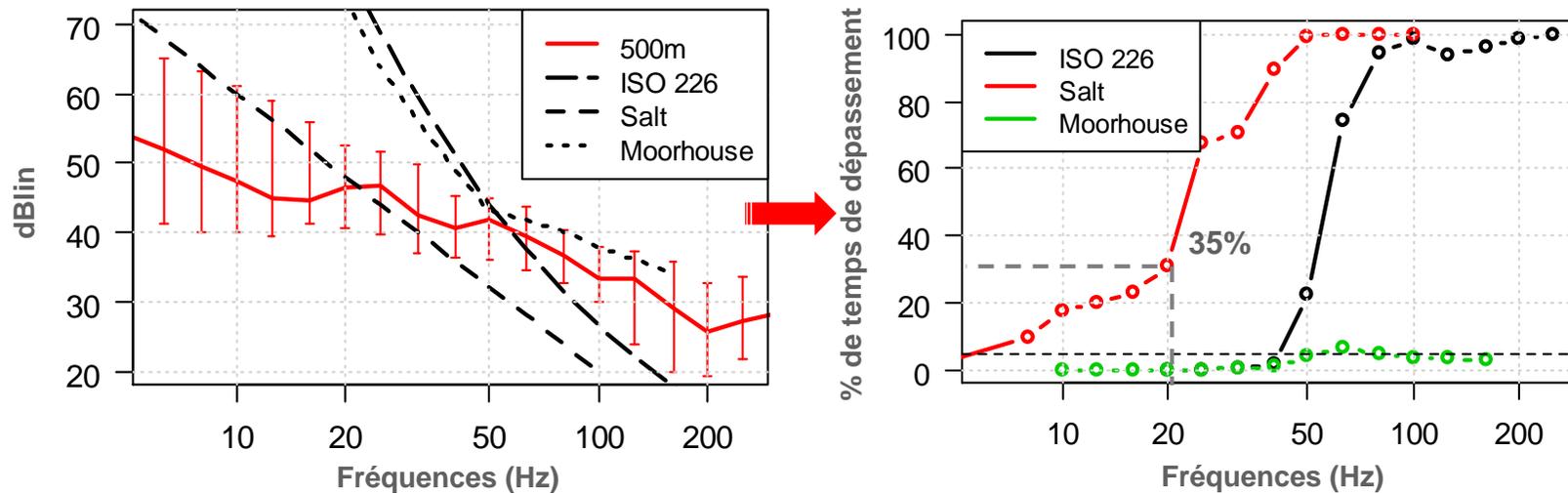
¹⁾ Système nerveux central



Étude des effets cochléovestibulaires (4/4)

Quelle réalité pour des expositions in situ au bruit éolien ?

► Niveaux sonores et spectres comparés aux seuils de Salt et Hullar



des dépassements ponctuels à 500 m de la courbe de Salt



Des limites d'interprétation

► Existence de ces effets physiologiques observés en laboratoire / expositions in situ ?

Des expositions **en laboratoire**, à des **niveaux plus forts** au **niveau de l'oreille moyenne/interne**

Courbe-seuil proposée par Salt et Hullar : une construction à questionner

► Absence de lien documenté entre effets physiologiques et possibles effets physiopathologiques



Études expérimentales / IBF des éoliennes

Quelles connaissances / données expérimentales sur les relations entre états de santé et expositions aux IBF ? (des éoliennes et de sources comparables)

➤ *Peu d'études expérimentales spécifiquement sur les effets spécifiques des IBF des éoliennes*

Qualité et comparabilité questionable

➤ *Études pour d'autres sources d'IBF* (expositions comparables)*

- Aucune association / marqueurs physiologiques recherchés pouvant identifier un effet
- Unique effet retrouvé : gêne autodéclarée
- Perception des IBF : seuil de perception à des niveaux sonores élevés par rapport aux sons à plus hautes fréquences

➤ *Effet nocebo constaté / IBF des éoliennes*

Plusieurs études de bonne qualité, répétées, en double aveugle, etc.



Aucune étude n'a à ce jour recherché les signatures physiologiques objectives associées aux effets physiologiques du système cochléovestibulaire cités auparavant



Études expérimentales / IBF de fortes intensités

Connaissances relatives aux effets sanitaires des IBF de très fortes intensités

➤ *Les connaissances relatives aux effets des IBF à très forts niveaux ne sont pas claires*

Constat : absence de réglementation, essentiellement quelques recommandations malgré des expositions courantes en milieu professionnel (forts niveaux, expositions courtes)

Des données sources assez anciennes (Nasa, etc.)

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

Fatigue, troubles psychologiques, effets sur la performance, etc.)

Exemple :

- < 120 dB SPL → uniquement des troubles passagers
- entre 120 et 140 dB SPL → troubles appréciables mais jugés passagers et supportables par des personnes en bonne santé même si l'exposition se prolonge plusieurs heures
- entre 140 et 155 dB SPL → troubles psychologiques possibles, fatigue supportable par des personnes en bonne condition physique, dans le cas d'une exposition courte (2 minutes)
- > 180 ou 190 dB SPL → niveau létal (déchirure des alvéoles pulmonaires)

Seuil de perception estimé à 102 dBG entre 1 et 20 Hz,



Analyse des données épidémiologiques disponibles

Observations de l'état de santé des riverains des éoliennes : synthèse des données épidémiologiques

➤ *Essentiellement des études*

- *relatives au bruit audible*
- *relatives à des effets autodéclarés* (données subjectives, type questionnaires)
- *transversales* (prévalence des effets / exposition)

➤ *Pas de conclusion possible sur les effets du bruit* des éoliennes*

Peu d'études, encore moins de bonne qualité

Divers types de biais (sélection, exposition, facteurs de confusion, etc.)

Études transversales : l'exposition précède-t-elle bien les effets étudiés ?

➤ *Une seule étude / IBF (bruit audible + infrasons) avec des données de santé objectives (qualité du sommeil et stress)*

Corrélation entre indicateur physiologique de stress et état de santé déclaré

MAIS

Absence de corrélation entre état de santé (déclaré et objectif) et exposition sonore



Conclusions (1/2)

1) Contexte : les IBF ne constituent qu'une hypothèse d'explication parmi d'autres aux situations de mal-être rapportées

Complexité à identifier l'agent en cause : bruit classique audible, gêne visuelle, etc.

D'autres facteurs d'opposition que les effets potentiels sur la santé qui ne sont pas négligeables

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

- Théoriquement : forme du spectre + valeurs d'exposition en limite de propriété → < 85 dBG à 500m
- Confirmation expérimentale (campagnes de mesures) : spectre < 50Hz en dessous du seuil d'audibilité à 500m

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



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) Des mécanismes d'effets hypothétiques pour des IBF non audibles qui restent à confirmer

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

- Induction de réponses non auditives par le vestibule
- Induction d'un signal nerveux non-auditif par les CCE
- Déséquilibre ionique et volumique des liquides cochléaires



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 (pathologique)

Ces effets physiopathologiques se traduiraient par des manifestations symptomatiques (vertiges, acouphènes, nausées, etc.) rarement mentionnées dans les divers témoignages recueillis, traduisant *a priori* une faible cohérence entre ces pistes de mécanismes d'effets hypothétiques et les effets négatifs ressentis décrits.

7) 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

L'existence d'un effet *nocebo* n'exclut pas l'existence d'autres effets

8) En raison de ses faibles bases scientifiques, la « *vibroacoustic disease* » (VAD) ne permet pas d'expliquer les symptômes rapportés



Recommandations (1/3)

➔ Amélioration des connaissances concernant les relations entre santé et exposition aux IBF

- **Étude épidémiologique** : réclamée par les associations de riverains, étude de faisabilité en cours (APR)

- **Études cliniques / expérimentales** :

- Étudier l'existence ou non d'une modulation du signal acoustique audible par les infrasons
- Pour les mécanismes cochléovestibulaires : réaliser des mesures expérimentales *in situ* permettant de chercher les signatures physiologiques objectives (moyens techniques disponibles)

➔ Concrétisation ou non d'une piste explicative importante à étudier

- **Études de psychoacoustique** :

- Études complémentaires / sonie des BF complexes (pas sons purs uniquement)
- Quantification de la variabilité interindividuelle
- Caractériser la gêne liée aux bruits audibles non stationnaires, modulations d'amplitude

- **Études en neurosciences** :

Favoriser la recherche en neurosciences et en imagerie médicale afin d'identifier les facteurs influençant l'effet *nocebo* et impacts du stress (afin de les éviter et/ou de les guérir)



Recommandations (2/3)

➤ Réglementation

- **Contrôle systématique de la puissance acoustique des éoliennes avant mise en service** (vérification de la pertinence de ce facteur essentiel / simulations numériques)

- **Contrôle en continu des bruits pour parcs éoliens** (lors de controverses ou systématiquement)

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

➡ Expérience positive de la gestion du bruit aéroportuaire

- **Simplifier le processus de remplacement d'éoliennes par de nouvelles (« repowering »)**

Sous condition de performances acoustiques

- **Valeurs limites de bruit**

Les connaissances / IBF ne justifient pas la modification des valeurs limites existantes ni la considération d'un spectre de fréquences plus étendu du bruit (dBA actuellement)

(pas d'audibilité directe de ces IBF et les pistes hypothétiques d'effets autres restent à démontrer)

- **Distance d'éloignement**

Rappel :

- une distance d'éloignement minimale unique (500m)
- une distance d'éloignement déterminée par l'étude d'impact du bruit et considérant les spécificités locales (>500 m dans la pratique)

➡ Pour la problématique « bruit », pas d'intérêt à modifier la distance minimale de 500 m





Recommandations (3/3)

➤ *Amélioration du processus d'information des riverains lors de l'implantation des parcs éoliens*

Lors de l'implantation d'un projet de parc :

- Transmission aux riverains des informations pertinentes le plus en amont possible
- Amélioration de la visibilité des enquêtes publiques (milieu rural notamment)
- Extension du périmètre de consultation à l'ensemble des riverains potentiellement impactés
- Mise à disposition d'un état des connaissances actualisé (site internet ?) afin de palier l'effet des très nombreuses informations contradictoires, anxiogènes ou non

Concernant plus généralement le dialogue entre parties-prenantes :

- Favoriser les concertations en amont des projets de parcs éoliens (avant enquête publique)
- Définir les acteurs au niveau local et mieux les impliquer

➤ *Renforcement des connaissances relatives aux expositions des riverains*

Afin d'améliorer les connaissances / expositions aux IBF

- Recours à des méthodes normalisées de mesures des IBF (corrélation possible entre dBA et IBF)
- Conception d'un modèle de prévision des expositions aux IBF (méthode numérique)

Pour améliorer comparabilité des données

- Développement d'une méthode expérimentale / caractérisation des modulations d'amplitude
- Détermination d'une méthode de calcul unique de prévision du bruit (pour études d'impacts) comme c'est le cas pour le bruit des transports

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