

Recommendations for Improved Acceptance of Wind Farm Projects in France with Regard to Acoustic Noise

Recommandations pour une meilleure acceptation des projets de parcs éoliens en France sur le plan des émissions acoustiques



P. Dutilleux, J. Gabriel; DEWI Wilhelmshaven

ENGLISH - FRANÇAIS

1. Abstract

From the consideration of the various acoustic issues that are raised by wind farm projects, the similarities and differences of approaches and methods used in France and in Germany are reviewed. Recommendations to the acousticians, to the wind turbine manufacturers, to the developers and to the operators are derived with the objective of improving the acoustic quality of wind farm projects and their acceptance by the population.

2. Introduction

One of the arguments which are used by opponents to wind farm projects is the amount of noise nuisance that they can generate. Although this issue is considered during the permitting process both in Germany and in France, more difficulties have been reported in France than in Germany by experienced wind farm project developers and operators. Whereas many projects have been accepted in Germany, many cannot proceed in France because of acoustic problems. Looking for an explanation for the different situation in the two countries, we will focus in this paper on differences that we have noted in the handling of the acoustic issues from a regulatory point of view.

1. Résumé

A partir des questions relatives aux émissions sonores soulevées par des projets de parcs éoliens, les similitudes et les différences entre les approches et méthodes mises en œuvre en France et en Allemagne sont passées en revue. Des recommandations à destination des acousticiens, fabricants d'éoliennes, développeurs et opérateurs sont formulées dans le but d'améliorer la qualité acoustique des projets de parcs éoliens pour une meilleure acceptation par la population.

2. Introduction

L'un des arguments généralement avancés par les opposants aux projets de parcs éoliens porte sur les nuisances sonores pouvant être engendrées. Bien que ce thème soit abordé au cours de la procédure de permis de construire en Allemagne comme en France, des développeurs et opérateurs éoliens expérimentés font état d'un plus grand nombre de difficultés en France qu'en Allemagne. Tandis que de nombreux projets ont été acceptés en Allemagne, un grand nombre ne peuvent aboutir en France en raison de problèmes acoustiques. En quête d'une explication à cette différence entre les deux pays, nous nous attacherons dans cet

From the wind turbine, as a source of acoustic noise, to the wind farm neighbour, as a receptor of an acoustic signal, there is usually a complex propagation path and additional sources of noise often interfere at the receptor's position.

In this paper we will consider the following issues:

- The source should be known and described as accurately as possible
- The propagation model should be suitable for the purpose and for the topographic as well as for the climatic conditions
- The initial state under consideration of the various climatic conditions should be known
- The relevant perceptive issues should be known and the decision criteria should be related to them.

We will not discuss in this paper the development process itself where a wind farm is designed under consideration of the topography, of the wind statistics and of the other users of the planning area although country-specific design rules could be derived from the regulatory framework.

We assume here that all the involved parties work towards a common and fair objective of producing electricity from renewable energy at the cost of a moderate and acceptable modification of the acoustical environment of the neighbours. A profit-oriented attitude could lead to an excessive degradation of the environment whereas a protective attitude which would impede the production of electricity from renewables could foster the development of other forms of electricity production which in the end could be even more detrimental to the environment. The administrations responsible for the permitting of the projects have to balance the interests of the various parties in order to use the available common resources for the most efficient electricity production scheme while preserving the environment.

3. Legislative Framework

The protection of the acoustic environment is regulated by laws passed by the governments of the respective countries e.g the so-called *BImSchG* in Germany [1] or the decree on the limitation of community noise in France [20].

The implementation of these laws then relies on administrative directives such as the *TA Lärm* [7] in Germany or published by the regional administrations in France [11] which are derived from ministry studies [12].

The decisions are based on levels and measurements which are defined or recommended on the basis of the experience gained by the professional acousticians. This experience is, to some extent, represented in the standards.

The issues of source characterization, propagation calculation methods, characterization of the initial acoustic situation, level and tonality are dealt with in various standards.

4. Source Characterization

The international standard IEC 61400-11 defines a method for the determination of the acoustic characteristics of a wind turbine which is described as a sound source with an apparent sound power level, a one-third octave spectrum as well as narrow-band spectral components. Optionally,

article aux divergences que nous avons observées dans le traitement des questions acoustiques du point de vue réglementaire.

Entre l'éolienne, source du bruit acoustique, et le voisin du parc éolien, récepteur d'un signal acoustique, il existe généralement un chemin de propagation complexe et des sources de bruit supplémentaires génèrent souvent des interférences à l'endroit où se trouve le récepteur.

Dans le cadre de cet article, nous développerons les points suivants :

- La source doit être définie et décrite aussi précisément que possible
- Le modèle de propagation doit être adapté à l'usage et aux conditions tant topographiques que climatiques
- La situation initiale, incluant les différentes conditions climatiques, doit être connue
- Les critères perceptifs pertinents doivent être connus et les critères de décision doivent en tenir compte.

Nous ne couvrirons pas dans cet article le processus de développement en lui-même, qui englobe la conception du parc éolien en fonction de la topographie, des statistiques de vent et des autres usagers de la zone d'aménagement bien que des règles de conception spécifiques à chaque pays puissent être déduites du cadre réglementaire.

Nous supposons ici que l'objectif de l'ensemble des parties concernées par un projet éolien est d'œuvrer au bien commun en permettant la production d'électricité d'origine renouvelable sans toutefois nuire excessivement à la qualité sonore de l'environnement des riverains. Une logique productiviste pourrait conduire à une dégradation intolérable de l'environnement sonore mais une logique visant à bloquer toute évolution de cet environnement pourrait empêcher la production d'électricité d'origine renouvelable et indirectement favoriser d'autres formes de production électrique qui pourraient être tout aussi préjudiciables à l'environnement. Les administrations responsables de l'attribution des permis de construire ont donc à trouver un équilibre entre les différents intérêts en jeu afin d'utiliser la ressource commune au mieux pour produire autant d'électricité éolienne que le site le permet tout en garantissant le respect de l'environnement.

3. Cadre législatif

La protection de l'environnement sonore est réglementée par des lois adoptées par les gouvernements des deux pays, comme la loi *BImSchG* en Allemagne [1] ou le décret relatif à la lutte contre les bruits de voisinage en France [20].

L'application de ces lois repose sur des directives administratives, comme la directive *TA Lärm* [7] en Allemagne, ou des directives publiées par les administrations régionales en France [11], suite à des études ministérielles [12].

Les décisions sont prises en fonction de niveaux et de mesures qui sont définis ou recommandés sur la base de l'expérience acquise par les acousticiens professionnels. Cette expérience est, dans une certaine mesure, reflétée dans les normes.

La caractérisation de la source, les méthodes de calcul de la

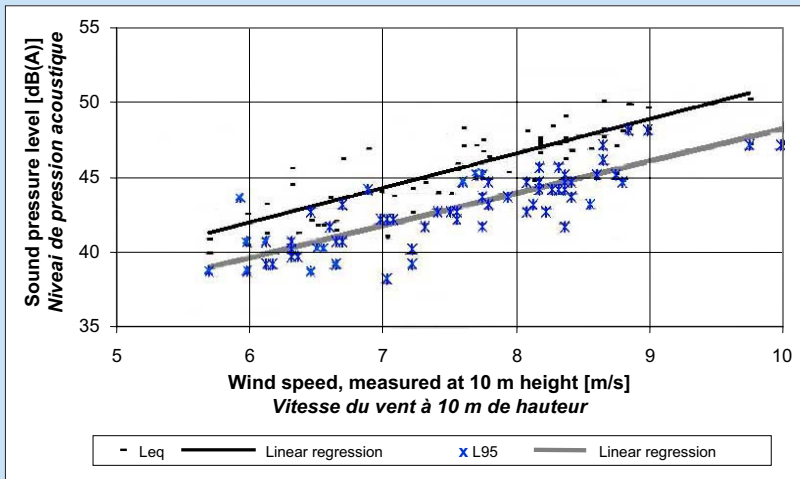


Fig. 1: Example of a wind-induced noise level in relation to the wind speed in 10 m height.

Fig. 1 : Exemple de niveau sonore induit par le vent en relation avec la vitesse de celui-ci à une hauteur de 10 m du sol.

the directivity of the source can also be determined [8]. This standard has taken over several of the propositions made by the International Energy Agency (IEA) in 1997 for the measurement of noise immission from wind turbines [6]. Further on, the method chosen for the determination of the tonality builds up on the work done during the development of the German standard DIN 45681 [14].

The standard IEC 61400-11 has an international character but its update cycle can be fairly long. Other professional organizations, such as MEASNET or FGW, develop alternative methods or recommendations which allow to implement at a faster update rate the latest findings [13][15] [16]. These recommendations can then be used as a basis for revisions of the international standards.

The IEC 61400-11 standard has been designed with the practical application in mind of predicting the sound pressure levels at the receptor's location. In order to provide the required input parameters to the intended prediction methods, the sound power level of the wind turbine as a whole has to be determined. Because of the size of the object under investigation, usual standards for the measurement of the sound power level of a source, such as the ISO 3744 [9], are not applicable. A practical method using a microphone on a plate in the vicinity of the wind turbine has been designed instead and has been laid down in the IEC 61400-11 standard.

The source as measured according to IEC 61400-11 will be considered as a point source positioned at hub height. However detailed investigations show that most of the noise is produced towards the end of the blades [17].

5. Propagation Model

Once the sound source is known, the use of a sound propagation model allows estimating the sound pressure level at the receptor's location. The choice of the suitable model raises however many questions. In Germany, an engineering method has been laid down in 1988 as the VDI 2714 [2] and has provided a basis for the international standard ISO 9613-2 [5].

propagation, la caractérisation de la situation acoustique initiale, le niveau sonore et la tonalité font l'objet de plusieurs normes distinctes.

4. Caractérisation de la source

La norme internationale CEI 61400-11 définit une méthode pour déterminer les caractéristiques acoustiques d'une éolienne qui est décrite comme une source sonore caractérisée par un niveau de puissance acoustique apparent, un spectre en tiers d'octave et des composantes spectrales à bande étroite. Cette méthode permet également de déterminer la directivité de la source [8]. La norme reprend plusieurs des propositions formulées par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) en 1997 concernant la mesure du niveau d'immission du bruit généré par des éoliennes [6]. Par ailleurs, la méthode choisie pour déterminer la tonalité s'appuie sur les travaux effectués lors du développement de la norme allemande DIN 45681 [14].

La norme CEI 61400-11 revêt un caractère international mais son cycle de mise à jour peut être relativement long. D'autres organisations professionnelles, comme MEASNET ou FGW, développent des méthodes alternatives ou formulent des recommandations permettant la mise en œuvre des dernières connaissances avec un rythme d'actualisation plus rapide [13][15][16]. Ces recommandations peuvent ensuite servir de base pour la révision des normes internationales.

La norme CEI 61400-11 a été développée en vue de l'application pratique qui consiste à prévoir les niveaux de pression acoustique à l'endroit où se trouvent les récepteurs. Afin de disposer de tous les paramètres requis pour pouvoir appliquer les méthodes de prédiction envisagées, il convient de déterminer le niveau de puissance acoustique de l'éolienne dans sa globalité. Compte tenu de la taille de l'objet étudié, les normes habituelles relatives à la mesure du niveau de puissance acoustique d'une source, comme la norme ISO 3744 [9], ne sont pas applicables. Une méthode pratique alternative, basée sur l'utilisation d'un microphone installé sur une plaque à proximité de l'éolienne, a été mise au point et décrite dans la norme CEI 61400-11.

This method is widely used around the world although the uncertainty of its prediction, in the range of +/- 3 dB, often leaves issues open for discussion, one of these being whether it is useful for sources higher than 30 m or not. In the acoustic community, alternative methods are actively searched for, proposed and discussed but reducing the aforementioned +/- 3 dB uncertainty window proves to be difficult.

Although France is generally not favorable to ISO 9613-2, this standard is mentioned in the French developers guide to wind farm projects [12] as a method for prediction of noise levels at the receptors location.

6. Measurement of Noise in the Environment

For the characterization of an acoustic situation, the French standard NF S 31-010 [4] defines the terms of "bruit résiduel, bruit particulier, bruit ambiant" which we translate here into background noise, wind turbine noise and ambient noise.

Whether or not a wind turbine noise will be annoying depends very much on the background noise level in the absence of the wind turbine. Hence it is interesting to consider the methods which are suitable for its assessment.

The International Energy Agency (IEA) has published in 1997 recommendations for the measurement of noise immission at receptor locations [6]. The proposed techniques have been selected with the objective of improving the measurement reproducibility. In order to avoid air flow noise at the measurement microphones, secondary wind screens are recommended. Fig. 1 shows that the use of a secondary wind screen allows to measure reliably the background noise even at high wind speeds. Further on, owing to the fact that the level of the wind turbine noise is often similar to that of the background noise, the mounting of the microphone on a large plate is recommended since it can improve the signal to noise ratio by 6 dB.

In application of the IEA recommendations, the German administrative directive *TA Lärm* allows to use secondary wind screens for the measurement at high wind speeds.

In France, the method for the assessment of noise in the environment is laid down in the NF S 31-010 standard [4]. According to this standard, the wind speed range for which measurements are valid is limited to 5 m/s. This might be appropriate when the receptor location is protected from the prevailing wind direction at the wind farm. If the receptor location is in direct view and down-wind of the wind farm, chances exist that the microphone will be subject to wind-flow induced perturbations. This location would be worth to investigate but measurements might not comply to the French standard because the wind speed at the microphone will probably exceed the 5 m/s limit.

One may argue that since the microphone is placed at a height of 1.5 m above ground, the wind speed at the microphone will be much lower than at the 10 m height of the wind measurement mast at the wind turbine site. In practice however, many situations will be found where the wind speed at 1.5 m height is higher than the 5 m/s limit and

La source, mesurée selon la norme CEI 61400-11, sera considérée comme une source ponctuelle située au niveau du moyeu. Toutefois, des études approfondies montrent que la majeure partie du bruit est produite près de l'extrémité des pales [17].

5. Modèle de propagation

Une fois la source sonore caractérisée, l'utilisation d'un modèle de propagation du bruit permet d'estimer le niveau de pression acoustique à l'endroit où se trouvent les récepteurs. Le choix d'un modèle adapté soulève cependant de nombreuses questions. En Allemagne, une méthode a été décrite en 1988 dans la norme VDI 2714 [2] et a servi de base à la norme internationale ISO 9613-2 [5].

Cette méthode est largement utilisée à travers le monde, même si l'incertitude des prédictions obtenues, de l'ordre de +/- 3 dB, donne matière à débat, notamment concernant son utilité pour des sources situées à une hauteur supérieure à 30 m. Malgré des recherches intensives et de nombreuses propositions et discussions consacrées à des méthodes alternatives au sein de la communauté acoustique, réduire cette incertitude de +/- 3 dB s'avère difficile.

Bien qu'en général la France ne soit pas favorable à la norme ISO 9613-2, celle-ci est mentionnée dans le guide des projets de parcs éoliens à l'attention des développeurs français [12] comme méthode permettant de prédire les niveaux sonores à l'endroit où se trouvent les récepteurs.

6. Mesure du niveau sonore ambiant

Pour la caractérisation d'une situation sonore, la norme française NF S 31-010 [4] définit les termes de bruit résiduel, bruit particulier et bruit ambiant. Alors que le bruit ambiant représente le bruit global lors du fonctionnement des éoliennes, le bruit résiduel représente le bruit en l'absence des éoliennes. Enfin, le bruit particulier représente celui engendré par les éoliennes seules.

L'ampleur des nuisances éventuelles causées par une éolienne dépendant fortement du niveau de bruit résiduel (donc en l'absence d'éolienne), il convient de s'intéresser aux méthodes adaptées pour évaluer ce niveau sonore résiduel.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a publié en 1997 des recommandations concernant la mesure de l'immission sonore à l'endroit des récepteurs [6]. Les techniques proposées ont été retenues dans le but d'améliorer la reproductibilité des mesures. Pour éviter que la mesure soit faussée par le bruit de l'écoulement de l'air au niveau des microphones, l'utilisation de bonnettes anti-vent secondaires est recommandée. La figure 1 montre que l'utilisation d'une bonnette anti-vent secondaire permet d'effectuer une mesure fiable du niveau de bruit résiduel, y compris en cas de vitesse élevée du vent. Par ailleurs, étant donné que le niveau du bruit particulier de l'éolienne est souvent similaire au niveau de bruit résiduel, l'installation du microphone sur une plaque de grandes dimensions est recommandée car elle permet d'améliorer le ratio signal/bruit de 6 dB.

Conformément aux recommandations de l'AIE, la directive

where flow noise could develop at the microphone even though the standard wind screen is in place. This would be the case in a turbulent wind field close to the ground where gusts would ruin the measurements although the average wind speed would remain below 5 m/s.

Hence we recommend the use of a secondary wind screen because it allows to perform measurements under most of the practical situations. The question whether or not these measurements may be taken into account within a measurement report complying to NF S 31-010 may be discussed later but the measurement itself will provide interesting insight about the noise immission during the operation of the wind turbine(s).

7. Secondary Sources

The acoustic situation at the immission points depends not only on the contribution from the wind farm but also from the wind-induced background noise sources such as surrounding trees or buildings. In order to take these sources under consideration, the German procedure allows the measurement at wind-exposed locations. In this case the secondary wind screen comes at hand to prevent flow-induced disturbing noise at the microphone.

In France, the wind speed at the microphone must not be larger than 5 m/s [4]. This rules out the measurements at wind-exposed locations. Measuring at a position in the wind shadow helps to comply to the max 5 m/s rule but leads usually to lower sound pressure levels than at wind-exposed locations.

The issue of comparing the predicted level with the measured one has to be raised here. The prediction of the sound level behind a building using the standard propagation models such as ISO 9613-2 leads to high uncertainties. Furthermore it is very difficult to estimate the contribution from the wind-induced secondary sources at these locations.

In Germany, the measurement at a wind-exposed location is specified by *TA Lärm* because it can be better compared to the prediction of the propagation model which performs reasonably well in such situations.

In order to characterize the acoustic situation between the wind turbine site and the immission point, we recommend to show the correlation of the sound pressure level at the site with the level at the immission point in relation to the wind speed at the wind turbine site.

8. Administrative Criteria

In Germany, the *TA Lärm* recommends day-time and night-time noise limits depending on the type of the considered zone (commercial area, mixed area, general residential, pure residential). For example, the night-time noise limit for a mixed area is 45 dB(A). This is a noise budget which must not be exceeded by all the contributors to the noise level. This limit is the same for all the wind speeds and since the sound power level of wind turbines increases with the wind speed, the limit according to *TA Lärm* imposes a limit on the maximum sound power level of the wind turbines. That

administrative allemande *TA Lärm* préconise l'utilisation de bonnettes anti-vent secondaires pour les mesures effectuées sous des vents atteignant des vitesses élevées.

En France, la méthode à utiliser pour la mesure des bruits de l'environnement est exposée dans la norme NF S 31-010 [4]. Selon cette norme, pour que les mesures soient valables, la vitesse du vent ne doit pas dépasser 5 m/s. Cette limitation peut être appropriée lorsque l'endroit où se situe le récepteur est protégé des vents dominants auxquels est exposé le parc éolien. Par contre, si le récepteur est directement exposé et sous le vent du parc éolien, la mesure microphonique risque d'être affectée de perturbations dues au bruit d'écoulement. Cette position du récepteur mériterait des mesures plus approfondies mais il est à craindre que les mesures ne soient pas conformes à la norme française car la vitesse du vent au niveau du microphone dépasserait probablement la limite des 5 m/s.

On pourrait rétorquer que, puisque le microphone est installé à une hauteur de 1,5 m du sol, la vitesse du vent au niveau du microphone sera beaucoup moins élevée qu'en haut du mât de mesure, à 10 m du sol, sur le site du projet éolien. Dans la pratique, cependant, on peut observer de nombreuses situations dans lesquelles la vitesse du vent à une hauteur de 1,5 m est supérieure à la limite de 5 m/s et où l'écoulement de l'air autour du microphone engendre un bruit malgré l'utilisation de la bonnette anti-vent standard. Ce serait le cas par exemple pour un champ de vent turbulent, près du sol, où les rafales viendraient fausser les mesures bien que la vitesse moyenne serait inférieure à 5 m/s.

Nous recommandons donc d'utiliser une bonnette anti-vent secondaire car elle permet de réaliser des mesures dans la plupart des situations. La question de la prise en compte de ces mesures dans un rapport conforme à la norme NF S 31-010 pourra être débattue ultérieurement, mais la mesure en elle-même fournit des informations intéressantes sur l'immission du bruit pendant le fonctionnement du parc éolien.

7. Sources secondaires

La situation acoustique des points d'immission dépend non seulement de la contribution du parc éolien mais aussi de sources de bruit résiduel induit par le vent, tels que les arbres ou les bâtiments environnants. Pour tenir compte de ces sources, la procédure allemande autorise le mesurage dans des endroits exposés au vent. Dans ce cas, la bonnette anti-vent secondaire s'avère utile contre le bruit perturbateur induit par l'écoulement de l'air au niveau du microphone.

En France, la vitesse du vent au niveau du microphone doit rester inférieure à 5 m/s [4]. Cette exigence interdit les mesures effectuées dans des endroits exposés au vent. Effectuer des mesures à l'abri du vent permet de satisfaire à l'exigence de la vitesse maximale de 5 m/s, mais conduit généralement à des niveaux de pression acoustique inférieurs à ceux relevés en des points exposés au vent.

Se pose alors la question de la comparaison du niveau estimé et du niveau mesuré. La prédiction du niveau sonore derrière un bâtiment à l'aide des modèles de propagation standards, comme la norme ISO 9613-2, conduit à d'impor-

is why the most relevant parameter for the assessment of wind turbines in Germany is their maximum sound power level. The available budget for a new wind farm will be the difference between the noise limit and the noise contributed by the other users.

When wind turbines operate beyond the rated wind speed, the sound power level of stall-regulated wind turbines tends to increase with the wind speed whereas it stabilizes and sometimes decreases with pitch-regulated turbines. That is why a pitch-regulated wind turbine fits usually better within a given noise budget than a stall-regulated one [18]. Experience shows that the critical wind speed for a wind farm project using pitch-regulated wind turbines is in the range of 8 to 10 m/s in 10 m height.

In France, the noise limit depends on the background noise level. The wind farm is allowed to increase the ambient noise level by 5 dB at day-time but only by 3 dB at night-time. This increase is named *émergence*. The French standard NF S 31-010 allows measurements of background noise only during periods when the wind speed is below 5 m/s at the microphone. In the absence of wind-induced noise, the background noise level depends on the activity of neighbours and other users of the area (mankind and biosphere). It varies according to the time of the day as well as of the season. Hence the noise limit for a given wind farm is variable. To be on the safe side, the project developer should evaluate the lowest background noise level over the year. It can be extremely low, in the range of say 26 dB(A) e.g. during a calm and cold winter night. This is a worst case situation for the project developer and searching for the quietest 30-minutes night period of the year can be a very time consuming project.

Fortunately, the wind farm developer counts on the wind-induced background noise since his future wind farm will operate only if wind is blowing. The trees, the structures and the buildings in the surroundings will usually produce wind-induced noise. How significant these sources are, depends very much on the topography of the area, of the layout of the wind farm and of the wind direction. Reliable measurements of wind-induced noise are however usually missing.

Hints on the characteristics of wind-induced noise can be provided by existing wind turbine measurements according to IEC 61400-11. The reports include the measurement of the background noise in the surroundings of the wind turbine (Fig. 1) but these measurements are usually not directly applicable to the immission points of interest because the microphone, mounted on a plate in the vicinity of the wind turbine, is more sensitive to the noise coming from the wind turbine than from the environmental sources which are close to the ground.

In the lack of reliable background noise measurement at the project site, the acoustician usually makes an assumption for the wind-induced background noise. By comparing the level of the assumed or measured background noise with the expected noise of the wind farm at the immission points, he can assess whether or not the increase of the ambient noise level is lower than 3 dB at night-time. The

tantes incertitudes. De plus, il est très difficile d'évaluer la contribution des sources secondaires de bruit induit par le vent en ces points.

En Allemagne, la mesure en un point exposé au vent est spécifiée par la *TA Lärm* car son résultat est plus facile à comparer au résultat de la prédiction à partir du modèle de propagation qui offre des résultats satisfaisants dans de telles situations.

Pour la caractérisation de la situation acoustique entre le site du parc éolien et le point d'immission, nous recommandons de montrer la corrélation du niveau de pression acoustique sur le site avec le niveau au point d'immission en relation avec la vitesse du vent sur le site du parc éolien.

8. Critères administratifs

En Allemagne, la directive *TA Lärm* recommande des limites sonores diurnes et nocturnes en fonction du type de la zone concernée (zone d'activité économique, zone mixte, zone à dominance résidentielle, zone exclusivement résidentielle). Par exemple, la limite sonore nocturne pour une zone mixte est fixée à 45 dB(A). Il s'agit d'un « budget » de bruit qui ne doit pas être dépassé par l'ensemble des contributeurs. Cette limite est la même quelle que soit la vitesse du vent ; étant donné que le niveau de puissance acoustique de l'éolienne augmente avec la vitesse du vent, la limite énoncée dans la directive *TA Lärm* a donc pour effet de limiter le niveau maximal de puissance acoustique des éoliennes. C'est la raison pour laquelle le paramètre le plus pertinent pour l'évaluation des éoliennes en Allemagne est leur niveau maximal de puissance acoustique. Le budget disponible pour un nouveau parc éolien correspondra à la différence entre la limite sonore et le niveau de bruit résiduel avant la construction.

Lorsque les éoliennes fonctionnent au delà de leur vitesse nominale de vent, le niveau de puissance acoustique a tendance à augmenter avec la vitesse du vent pour les éoliennes à régulation par décrochage, tandis que pour les éoliennes à calage variable de pale, il se stabilise, voire diminue. C'est pourquoi une éolienne à calage variable de pale s'avère généralement plus apte à respecter un budget de bruit donné qu'une éolienne à régulation par décrochage [18]. L'expérience montre que la vitesse de vent critique pour un projet constitué d'éoliennes à calage de pale variable se situe entre 8 et 10 m/s à 10 m de hauteur.

En France, la limite sonore dépend du niveau du bruit résiduel. Le parc éolien est autorisé à provoquer une élévation du niveau de bruit ambiant de 5 dB de jour mais seulement de 3 dB la nuit. Cette élévation du niveau sonore de l'environnement est appelée *émergence*. La norme française NF S 31-010 autorise les mesures du niveau de bruit résiduel uniquement lorsque la vitesse du vent est inférieure à 5 m/s au niveau du microphone. En l'absence de bruit induit par le vent dans l'environnement, le niveau de bruit résiduel dépend des activités du voisinage et des autres usagers de la zone (humanité et biosphère). Il varie donc en fonction de l'heure de la journée et de la saison. La limite sonore pour un parc éolien donné est donc variable. Pour plus de sécurité, il est recommandé au développeur du pro-

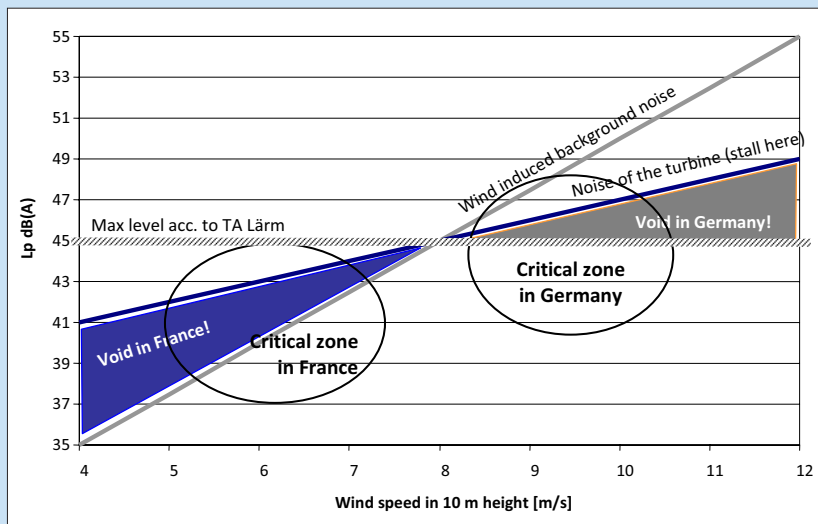


Fig. 2: Wind turbine noise and wind-induced noise in relation to noise limits in Germany and France.

Fig. 2 : Bruit dû à l'éolienne et bruit induit par le vent en comparaison avec les limites sonores applicables en Allemagne et en France.

review of numerous wind farm projects shows that the critical wind speed range is between 5 and 7 m/s (Fig. 2).

9. Measurements at the Immission Point

In Germany, the sound pressure level at the immission point must not exceed the reference noise limit. Even though the difference between the background and the resulting levels is measured, the uncertainty on the immission measurement is high. Repeated measurements at different periods of time could lead to differing conclusions. In order to ensure a long-term stable decision, an alternative method is preferred for the determination of the immission level. It is based on the measurement of the source and completed by a calculation of the propagation to the receptor location.

In France, the measurement at the immission point requires the measurement of the background noise as well as of the ambient noise. Since the difference between these two noise levels is often very small, the relative uncertainty is high. Furthermore, depending on the period of time, the measurement of the background noise is subject to large variations. As a consequence, the decision whether the level at the immission point is acceptable or not is subject to hesitations and hence unstable on the long term.

10. Wind Turbine Characteristics

The critical wind speed range is different for Germany and for France. As a consequence, the optimal wind turbine for a German project may be different from the optimal wind turbine for a French project. In Germany, the most relevant acoustic parameter is the maximum sound power level and manufacturers provide the capability to trade a lower sound power level for a limitation of the electrical power. Such a limitation is designed to be effective at high wind speeds but may have almost no effect on the sound power level at reduced wind speeds.

Some designs are however tailored for a reduced sound power level within the critical wind speed range of French projects. Hence, the country-specific noise limits induce

jet de prendre en compte le niveau de bruit résiduel le plus faible sur l'ensemble de l'année. Celui-ci peut s'avérer extrêmement faible, de l'ordre de 26 dB(A), par ex. au cours d'une nuit d'hiver calme et froide. D'ailleurs, c'est un niveau très proche du bruit propre du système de mesure, si bien que l'on peut même envisager une valeur encore plus faible. Il s'agit de la situation acoustique la plus critique pour le développeur du projet et déterminer la période nocturne de 30 minutes la plus silencieuse de l'année peut constituer une tâche extrêmement fastidieuse.

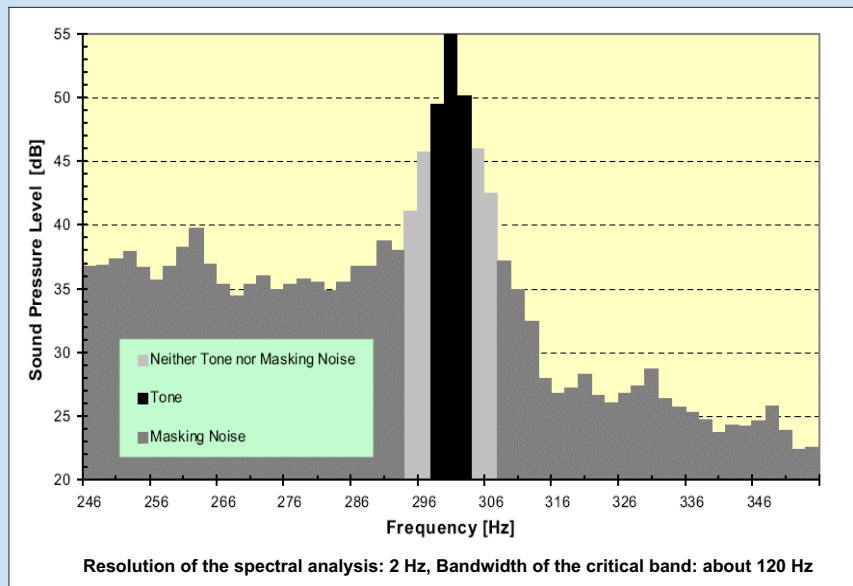
Heureusement, le développeur du parc éolien peut compter sur le niveau de bruit résiduel induit par le vent pour augmenter son « budget » de bruit, puisque son futur parc ne fonctionnera que lorsque le vent souffle et induit des bruits en passant à travers et autour des arbres, structures et bâtiments des environs. L'importance de ces sources dépend en grande partie de la topographie de la zone, de l'implantation du parc éolien et de la direction du vent. Cependant, des mesures fiables du bruit induit par le vent font généralement défaut.

Des indications sur les caractéristiques du bruit induit par le vent peuvent être fournies par des mesures effectuées sur des éoliennes existantes conformément à la norme CEI 61400-11. Les rapports font état de la mesure du bruit résiduel dans les environs de l'éolienne (Fig. 1) mais ces mesures ne sont généralement pas directement applicables aux points d'immission pertinents car le microphone, installé sur une plaque à proximité de l'éolienne, est plus sensible au bruit engendré par l'éolienne qu'à celui provenant d'autres sources environnantes proches du sol.

En l'absence de mesures fiables spécifiques au site du projet, l'acousticien s'appuie généralement sur une hypothèse concernant le bruit résiduel induit par le vent. En comparant le niveau de bruit résiduel estimé ou mesuré avec le niveau sonore escompté de l'éolienne aux points d'immission, il peut alors estimer si l'élévation du niveau sonore ambiant sera ou non supérieure à 3 dB de nuit. Le passage en revue d'un grand nombre de projets de parcs éoliens montre que la vitesse de vent critique se situe entre 5 et 7 m/s (Fig. 2).

Fig. 3: Illustration of classifying the spectral lines of a narrow band analysis.

Fig. 3 : Illustration de la classification des raies spectrales dans une analyse à bande étroite.



technological developments which lead to differences in the country-specific optimized wind turbines.

11. Tonal Components

The level of noise from the wind turbines is an important criterion but it is not sufficient to explain the acceptance or rejection of some projects by the neighbours. Besides the level, the tonal character of the noise often causes the greatest annoyance. In order to reflect the increased annoyance caused by noise containing tonal components, a penalty can be added to the sound power level. Several methods for the evaluation of this penalty have been investigated by the Working Group on noise from Wind Turbines and reported in "The Assessment and Rating of Noise from Wind Turbines" [3].

In Germany, the *TA Lärm* considers a penalty for tonal components according to DIN 45681 [14]. This method has been initially developed for industrial applications but has been adapted to the assessment of wind turbine noise within the IEC 61400-11 standard [8] (Fig. 3).

The French standard NF S 31-010 considers a tonality defined on the basis of the third-octave analysis named *tonalité marquée*. Such a criterion smears the information provided by the narrow-band components into one-third octave bands and fails to single out the real problems.

The French standard NF EN 61400-11, which is closely related to the IEC 61400-11, introduces nevertheless the notion of tonality on the basis of the narrow-band analysis. The discussion with French representatives showed however that this notion is not yet considered by the administrations during the permitting process.

The assessment of tonality relies on psychoacoustics and remains controversial but failing to take the tonal compo-

9. Mesures au point d'immission

En Allemagne, le niveau de pression acoustique au point d'immission ne doit pas dépasser la limite de référence. Bien que la différence entre le niveau de bruit résiduel et le niveau de bruit ambiant soit mesurée, l'incertitude de mesure des niveaux d'immission est élevée. Des mesures répétées à différents moments sont susceptibles de donner lieu à des conclusions différentes. Pour une décision stable à long terme, une méthode alternative est privilégiée concernant la détermination du niveau d'immission. Cette méthode se base sur la mesure de la source combinée au calcul de la propagation vers le lieu du récepteur.

En France, la mesure au point d'immission nécessite de mesurer le bruit résiduel ainsi que le bruit ambiant. Étant donné que la différence entre ces deux niveaux sonores est généralement très faible, l'incertitude est élevée. De plus, selon la période, la mesure du bruit résiduel est sujette à de grandes variations. Il est par conséquent difficile de déterminer à coup sûr si le niveau sonore au point d'immission est acceptable ou non.

10. Caractéristiques des éoliennes

La plage de vitesse du vent critique diffère entre l'Allemagne et la France. Par conséquent, l'éolienne idéale peut ne pas être la même pour un projet allemand et un projet français. En Allemagne, le paramètre acoustique le plus pertinent est le niveau maximal de puissance acoustique et les fabricants offrent la possibilité de réduire le niveau de puissance acoustique au prix d'une limitation de la puissance électrique. Cette limitation, conçue pour être efficace aux vitesses de vent élevées, peut n'avoir pratiquement aucun effet sur le niveau de puissance acoustique pour les faibles vitesses de vent.

Certains modèles cependant sont conçus spécialement

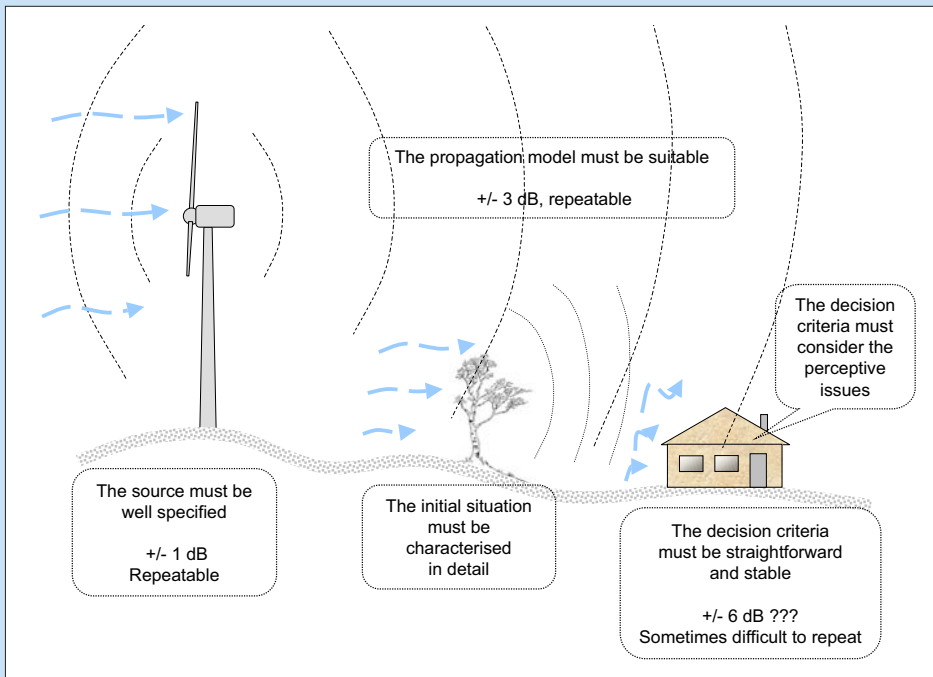


Fig. 4: Typical uncertainties at the various phases of the acoustic study of a wind farm project.

Fig. 4 : Incertitudes types aux différents stades de l'étude acoustique d'un projet éolien.

nents into account leads to a biased evaluation of the situation. Trying to prevent the annoyance only by lowering the noise limits imposes unduly constraints on the wind farm development process.

12. Measurement Methods

The wind energy community has developed measurement methods which lead to limited uncertainty and good reproducibility. This could only be reached through the adoption of special measures such as:

- secondary wind screens for the measurements with wind speeds up to 10 m/s [8]
- use of a large ground board in the vicinity of the wind turbine to reduce the wind-induced noise generated at the microphone, to improve the signal to noise ratio and to minimize the influence of different ground types [8]
- wind-speed measurement at hub height and on the basis of the electric power and of the power curve of the wind turbine [13].

Unfortunately, these methods are not compliant to the French standard NF S 31-010.

13. Uncertainties

The prediction of the acceptance level of a wind farm project by the neighbours is a difficult task. When the perception of a wind farm project is negative, the quality of the equipment, the wind turbine, is first suspected. Although this might have been justified in the past, most modern wind turbines have respectable acoustic characteristics. The measurement methods according to IEC 61400-11 lead to reproducible results with uncertainties in the range of +/- 1 dB. The propagation calculation performed during the acoustic study has usually an uncertainty in the range of +/- 3 dB. This is considered as state-of-the-art although many

pour engendrer un niveau de puissance acoustique réduit dans la plage de vitesse de vent critique pour les projets français. Les limites sonores spécifiques à chaque pays induisent ainsi des développements technologiques qui résultent en une optimisation des éoliennes spécifique à ce pays.

11. Composantes tonales

Le niveau sonore des éoliennes est certes un critère important, mais il n'explique pas à lui seul l'acceptation ou le rejet de certains projets par le voisinage. Outre le niveau sonore, la tonalité du bruit est souvent à l'origine des principales nuisances. Afin de refléter les nuisances accrues générées par des composantes tonales du bruit, une pénalité peut être ajoutée au niveau de puissance acoustique. Plusieurs méthodes de détermination de cette pénalité ont été étudiées par le Groupe de travail sur le bruit des éoliennes dont les conclusions figurent dans le rapport « The Assessment and Rating of Noise from Wind Turbines » [3].

En Allemagne, la directive *TA Lärm* se base sur une pénalité pour les composantes tonales conforme à la norme DIN 45381 [14]. Cette méthode a été mise au point, à l'origine, pour des applications industrielles avant d'être adaptée pour l'évaluation du bruit des éoliennes dans le cadre de la norme CEI 61400-11 [8] (Fig. 3).

La norme française NF S 31-010 tient compte d'une tonalité définie sur la base de l'analyse en tiers d'octave et appelée *tonalité marquée*. Un tel critère estompe sur un intervalle de tiers d'octave les informations disponibles sur les composantes à bande étroite et ne parvient pas à mettre en évidence les problèmes réels.

La norme française NF EN 61400-11, très proche de la norme CEI 61400-11, introduit cependant la notion de tonalité sur la base de l'analyse à bande étroite. La discus-

acousticians work at developing more accurate methods. As seen before, the measurement of the background noise in France is subject to large uncertainties due to seasonal as well as occupational variations. As a consequence of this unsteady reference level, the decision whether the contribution from the wind farm is acceptable or not is uncertain in the long term.

In the end, the acceptance of the wind farm has to come from the neighbours. Depending on their sensitivity and subjectivity, they can have developed radical opinion on the wind farm. Even though negative opinions can be justified at a given period of time because of temporary poor operating conditions of the wind farm, it might get difficult to upset these negative opinions once the operating conditions have improved. Once people have focused on an acoustic issue they can sharpen their sensitivity so much that they remain sensitive beyond the correction of the initial acoustic problem.

The recommended strategy to improve the acceptance of wind farm projects is hence (Fig. 4)

1. to prevent upsetting the sensitive neighbours,
2. to develop suitable and stable administrative criteria
3. to improve the propagation models
4. to improve the wind turbine acoustic qualities.

The measurement methods developed for wind energy such as the IEC 61400-11 have the goal of reducing the uncertainty and providing results that can be verified by others. More demanding standards, such as those of MEASNET can lead to a further reduction of the uncertainty [13].

The signal to noise ratio can be improved by mounting the microphone on a large board.

The wind-induced secondary noise sources must be characterized for a qualified analysis of the acoustic situation.

14. Discussion

Most of the information on the source provided by a measurement according to IEC 61400-11 is taken into account during the evaluation of a wind farm project in Germany, especially the tonality which has proven to be a very sensitive and selective issue [22].

The French standard NF S 31-010 on the other hand considers a tonality defined on the basis of the third-octave analysis named *tonalité marquée*. It usually overlooks the spectral components which are more significant from a perceptual point of view and can only be resolved by a narrow-band analysis.

The IEC 61400-11 standards prescribes that the results of the measurements are shown for wind speeds between 6 and 10 m/s. This is convenient for several countries but unfortunately not for France where investigations at lower wind speeds are necessary to meet the administrative requirements. It is advisable here that France gets more involved in the standardization process so that its specific requirements are taken into consideration for the next release of the standard.

sion avec des représentants français a révélé cependant que cette notion n'est pas encore prise en compte par les administrations lors du processus d'attribution des permis de construire.

L'analyse de la tonalité relève de la psychoacoustique et reste controversée, mais faute de tenir compte des composantes tonales, on obtient une évaluation biaisée de la situation. La démarche qui vise à lutter contre les nuisances uniquement en abaissant les limites sonores impose des contraintes supplémentaires sur le processus de développement du parc éolien qui n'ont pas lieu d'être.

12. Méthodes de mesure

La communauté de l'énergie éolienne a développé des méthodes de mesure qui offrent une incertitude limitée et une excellente reproductibilité. De tels résultats ont pu être atteints uniquement grâce à l'adoption de mesures spécifiques :

- utilisation de bonnettes anti-vent secondaires pour les mesures effectuées à des vitesses de vent atteignant jusqu'à 10 m/s;
- utilisation d'une grande plaque au sol à proximité de l'éolienne pour réduire le bruit induit par le vent au niveau du microphone, améliorer le ratio signal/bruit et minimiser l'influence de la nature du sol [8];
- mesure de la vitesse du vent à la hauteur du moyeu de l'éolienne et sur la base de la puissance électrique et de la courbe de puissance [13];
- Malheureusement, ces méthodes ne sont pas conformes à la norme française NF S 31-010.

13. Incertitudes

La prédiction du niveau d'acceptation d'un projet de parc éolien par le voisinage est une tâche difficile. Lorsqu'un projet de parc éolien est perçu de manière négative, la qualité de l'équipement, autrement dit les éoliennes, est incriminée en premier. Cet argument pouvait se justifier par le passé, mais la plupart des éoliennes modernes présentent des caractéristiques acoustiques satisfaisantes. Les méthodes de mesure conformes à la norme CEI 61400-11 aboutissent à des résultats dont l'incertitude est de l'ordre de +/- 1 dB. Le calcul de la propagation effectué au cours de l'étude acoustique offre généralement une incertitude de l'ordre de +/- 3 dB. Ces méthodes sont considérées comme des méthodes de pointe, même si de nombreux acousticiens travaillent à les rendre encore plus précises. Comme nous l'avons évoqué précédemment, la mesure du bruit résiduel en France débouche sur des incertitudes élevées dues aux variations saisonnières et à l'influence du niveau d'activité environnant. En conséquence de ce niveau de référence instable, il est difficile de déterminer sur le long terme si la contribution du parc éolien sera ou non acceptable.

En définitive, le parc éolien doit recevoir l'approbation du voisinage. Selon sa sensibilité et sa subjectivité, celui-ci peut s'être forgé une opinion radicale concernant le parc éolien. Des opinions négatives, justifiées à un moment donné en raison de conditions de fonctionnement / dysfonctionnement temporairement défavorables, peuvent s'avérer difficiles à surmonter une fois les conditions de fonctionnement

15. Recommendations to the Developers and Operators

In order to improve the acoustic acceptance of wind farm projects we recommend the following:

- Adapt the wind farm design rules in order to take the country-specific regulatory framework under consideration. As an example, the typical controversial case of a wind farm on top of a hill with dwellings down-wind in the valley might be even more critical in France than in Germany because the *émergence* criterion might be more selective than a noise limit if the valley is considered to be French rather than German
- Assess the background noise with enough details. This usually requires long-term or repeated measurements
- Be conservative and adopt safety margins (at least 2 dB) to account for the uncertainties of the acoustic study
- Even though some issues are at first sight not relevant for the building permitting process, such as the narrow-band tonality in France, do pay attention to it because on the long term, the neighbours will be sensitive to this issue
- Avoid misunderstanding by addressing the relevant perceptible issues. Whereas French administrations and experts might argue on acoustic indicators such as L_{Aeq} , L_{90} or L_{50} , opponents could be excessively reactive because of individual tones which are not reflected by these acoustic indicators
- Choose wind turbines whose acoustic characteristics are suitable for the project. Depending on the country of application, the focus might be at higher wind speeds, such as in Germany, or at medium wind speeds such as in France. Some manufacturers offer country-specific acoustic operational features
- If the wind turbine does produce unexpected noise after commissioning, be diligent and have these turbines fixed before opponents make an argument on the long term out of these initial problems
- Remember that almost no narrow-band tonality should be emitted by a state-of-the-art wind turbine
- Make use of all the available features of the wind farm management system in order to reduce the emission when necessary such as time- and weather-dependent noise reduction
- Review the critical issues of the project during an acoustical due diligence before the construction of the wind farm. Many potential problems can be identified at the planning stage and solutions can then be found more easily than when the wind farm is already operating and neighbours are complaining.

16. Perspectives

An extension of the French NF S 31-010 standard for application in wind energy is under development. We hope that it will consider some of the remarks presented in this paper.

17. Acknowledgments

This paper draws up on presentations given in January 2007 in Berlin within the framework of the German-French coordination agency for the development of wind energy [21] and September 2007 in Lyon within the Wind Turbine Noise Conference [24].

optimales rétablies. Lorsque des personnes se focalisent sur un problème acoustique, elles peuvent développer une telle sensibilité qu'elles continuent à ressentir une gêne une fois le problème acoustique initial corrigé.

La stratégie recommandée pour améliorer l'acceptation des projets de parcs éoliens consiste donc à (Fig. 4) :

1. éviter de contrarier les voisins sensibles,
2. développer des critères administratifs adaptés et stables
3. améliorer les modèles de calcul de propagation
4. améliorer les qualités acoustiques de l'éolienne

Les méthodes de mesure développées pour le secteur de l'énergie éolienne, comme la norme CEI 61400-11, ont pour but de réduire l'incertitude de mesure et de fournir des résultats vérifiables par d'autres instituts de mesures. Des normes plus strictes, comme celles de MEASNET, peuvent déboucher sur une réduction supplémentaire des incertitudes [13].

Le ratio signal/bruit peut être amélioré en installant le microphone sur une plaque de grandes dimensions.

Les sources secondaires de bruit induit par le vent dans l'environnement doivent être caractérisées pour permettre une analyse qualifiée de la situation acoustique.

14. Débat

La plupart des informations fournies sur la source par une mesure effectuée conformément à la norme CEI 61400-11 sont prises en compte lors de l'évaluation d'un projet de parc éolien en Allemagne, en particulier la tonalité qui s'est révélée être un critère très sensible et sélectif [22].

La norme française NF S 31-010, en revanche, tient compte d'une tonalité définie sur la base de l'analyse en tiers d'octave appelée *tonalité marquée*. Elle omet généralement les composantes spectrales qui sont les plus significatives du point de vue de la perception et qui ne peuvent être caractérisées qu'au moyen d'une analyse à bande étroite.

Dans la norme CEI 61400-11, les résultats des mesures sont indiqués pour des vitesses du vent comprises entre 6 et 10 m/s. Cela est adapté pour plusieurs pays mais malheureusement pas pour la France où les mesures doivent être effectuées à des vitesses du vent inférieures pour satisfaire aux exigences administratives. Nous recommandons ici une plus grande implication de la France dans le processus de normalisation afin que ses exigences spécifiques soient prises en compte pour la prochaine version de la norme.

15. Recommandations à l'attention des développeurs et opérateurs

Afin d'améliorer l'acceptation des projets de parcs éoliens sur le plan acoustique, nous formulons les recommandations suivantes :

- Adapter les règles de conception du parc éolien de manière à tenir compte du cadre réglementaire spécifique au pays. Par exemple, le cas typiquement sujet à controverse d'un parc éolien en haut d'une colline avec des habitations installées en contrebas et sous le vent serait probablement encore plus critique en France qu'en Allemagne car le critère de l'émergence pour une vallée française peut s'avérer plus strict que la limite de

References / Références

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), 15 March 1974.
- [2] VDI 2714: Schallausbreitung im Freien. January 1988.
- [3] ETSU: The Assessment and Rating of Noise from Wind Turbines, ETSU-R-97, ETSU for the DTI. September 1996.
- [4] NF S 31-010: Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage. Decembre 1996.
- [5] ISO 9613-2 Ed. 1: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation. 15 December 1996.
- [6] IEA: Recommended practices for wind turbine testing, vol. 10, Measurement of noise immission from wind turbines at noise receptor locations, 1st edition, 1997. Sten Ljunggren Ed.
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm). 26 August 1998.
- [8] IEC 61400-11 - Ed. 2.0: Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. 10 October 2002.
- [9] ISO 3744:1994. Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. 22 January 2003.
- [10] NF EN 61400-11: Aérogénérateurs - Partie 11: Techniques de mesure du bruit acoustique. December 2004.
- [11] DRASS de Picardie : Les éoliennes et le bruit, Cahier des charges pour l'élaboration de l'étude d'impact sonore. February 2004.
- [12] Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. January 2005.
- [13] MEASNET: Acoustic noise measurement procedure, Version 2. January 2005.
- [14] DIN 45681: Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen. March 2005.
- [15] FGW: Technische Richtlinien für Windenergieanlagen. Teil1: Bestimmung der Schallemissions-werte. Revision 16, 01 July 2005.
- [16] FGW: Technische Richtlinien für Windenergieanlagen - Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 17, 01.07.2006. Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie e.V. (Technical guideline for wind turbines - Part 1: Determining the noise emission values, Fördergesellschaft Windenergie e.V. (FGW) ed.)
- [17] Schepers et al., SIROCCO: Silent ROTors by aCoustic Optimisation. Wind Turbine Noise, Berlin, October 2005.
- [18] Klug: A review of wind turbine noise. DEWI Magazin Nr.28, pp. 32-38, February 2006.
- [19] IEC 61400-11-am1 - Ed. 2.0: Amendment 1 - Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. 29 May 2006.
- [20] Décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage. JO Rep. Française. 01 September 2006.
- [21] Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne / Deutsch-Französische Koordinierungsstelle Windenergie: Émissions sonores des éoliennes / Lärmemissionen von Windenergieanlagen. Berlin, 17 January 2007. <http://www.wind-eole.com/>.
- [22] Piorr : Windenergieanlagen und Immissionsschutz. Émissions sonores des éoliennes / Lärmemissionen von Windenergieanlagen. Berlin, 17 January 2007.
- [23] ISO 1996-2:2007. Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels. 9 March 2007.
- [24] Wind Turbine Noise Conference, Lyon, France 20-21 September 2007. <http://www.windturbinenoise2007.org/>.
- [25] ISO 1996-1:2003. Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures. 11 August 2003.

niveau sonore pour une vallée allemande ;

- Évaluer le bruit résiduel de façon suffisamment détaillée. Cela nécessite généralement des mesures effectuées sur une longue période ou répétées ;
- Être prudent et prévoir des marges de sécurité (d'au moins 2 dB) pour tenir compte des incertitudes de l'étude acoustique ;
- Même si certains aspects peuvent sembler peu pertinents de prime abord pour le processus du permis de construire, comme la tonalité à bande étroite en France, ne pas les négliger car, à long terme, le voisinage sera particulièrement sensible à ces aspects ;
- Éviter les incompréhensions en traitant volontairement les aspects perceptifs pertinents. Tandis que les administrations et les experts s'appuient en France sur des indicateurs acoustiques comme L_{Aeq} , L_{90} ou L_{50} , les opposants peuvent se montrer extrêmement réactifs en raison d'une sensibilité individuelle exacerbée à certaines tonalités dont ces indicateurs acoustiques ne rendent pas compte ;
- Choisir des éoliennes dont les caractéristiques acoustiques sont adaptées au projet. Selon le pays, l'accent sera mis sur des vitesses de vent élevées, comme en Allemagne, ou sur des vitesses de vent modérées, comme en France. Certains fabricants proposent des caractéristiques acoustiques spécifiques pour chaque pays ;
- Si l'éolienne produit un bruit inattendu après la mise en service, être réactif et remédier au problème avant que des opposants utilisent ces problèmes initiaux comme argument à long terme ;
- Se souvenir qu'une éolienne à la pointe de la technologie ne doit émettre pratiquement aucune tonalité en bande étroite ;
- Exploiter toutes les possibilités offertes par le système de gestion du parc éolien, comme la régulation de la production électrique en fonction de l'heure ou des conditions climatiques, de manière à réduire l'émission sonore lorsque nécessaire ;
- Passer en revue les points critiques du projet au cours d'un audit acoustique préalable à la construction du parc éolien. De nombreux problèmes potentiels peuvent être identifiés au stade de la planification, ce qui permet de trouver des solutions plus facilement que lorsque le parc est déjà en fonctionnement et que le voisinage commence à se plaindre.

16. Perspectives

Un élargissement de la norme française NF S 31-010 est actuellement en cours en vue de son application à l'énergie éolienne. Nous espérons qu'il sera tenu compte des remarques exposées dans cet article.

17. Crédits

Cet article s'appuie sur des conférences données en janvier 2007, à Berlin, dans le cadre du Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne [21] et à Lyon en septembre 2007 lors de la Wind Turbine Noise Conference [24].