

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Isolation Acoustique des Habitations Proches

des Installations Éoliennes :

Évaluation comparative de la localisation d'un parc éolien dans la section montagneuse du département de Rhodope (Grèce)

Nicolas K. Barkas

Département d'Architecture, Faculté Polytechnique, Université Démocrite de Thrace, email : nbarkas@arch.duth.gr

Bien qu'elles produisent de l'énergie renouvelable et respectueuse de l'environnement, les installations éoliennes ne sont pas exemptes d'un certain impact sur l'environnement, dont le plus notable est la pollution acoustique due au bruit des turbines éoliennes en fonctionnement. La localisation d'un parc éolien tient quant à elle compte des données techniques de l'installation (quantité d'unités et bruit de fonctionnement) ainsi que de la distance qui le sépare des habitations riveraines, afin d'assurer le confort acoustique des habitants. La communication proposée s'inscrit dans un travail de recherche plus large effectué en 2008-09 dans la zone de Monastiri de la localité de Kechros située dans la partie montagneuse du département du Rhodope (Grèce), où fonctionne une installation éolienne composée de huit (8) turbines placées à 250 mètres de distance en amont des habitations. Ce travail de recherche présente les résultats des mesures d'émissions sonores réalisées in situ (en des points particuliers et avec diverses conditions de vent), ainsi que leur comparaison avec les données informatiques correspondantes issues de différents modèles de calcul de propagation du son à l'air libre. Les éléments de la recherche sont évalués en fonction des critères se rapportant au confort acoustique dans les réglementations grecques et européennes en matière d'isolation acoustique, ainsi que des seuils réglementaires de distances minimales obligatoires séparant une installation éolienne de différentes zones protégées. Cette communication analyse les paramètres agissant sur le désagrément causé par les installations éoliennes et tente de formuler des propositions d'aménagement relatives aux critères de localisation des parcs éoliens.

1. Introduction

L'accroissement constant des besoins en énergie a conduit au développement de sources d'énergie renouvelable alternatives et écologiques. L'énergie éolienne est l'énergie produite grâce à l'exploitation du vent, c'est-à-dire de l'énergie cinétique, en raison des différences locales de pression atmosphérique. Les installations éoliennes fonctionnent sous forme de turbines éoliennes isolées ou de parcs éoliens (groupes de turbines éoliennes).[1] Les sommets plats de collines avec des pentes légères et un horizon étendu, les plaines ouvertes, les côtes et les cols des montagnes favorisant la formation de courants d'air sont considérées comme des emplacements adéquats pour l'exploitation du potentiel éolien d'une région.[2] La localisation d'une installation éolienne suppose une facilité d'accès, la proximité du réseau électrique national, l'acceptation sociale, la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement (EIE) et des règlements de fonctionnement.[3]

Comme tout ouvrage technique, l'installation d'un parc éolien a une certaine incidence sur le milieu naturel et l'environnement humain : [4]

1. atteinte au paysage,
2. extermination des oiseaux,

3. destruction de la flore locale de courte durée pendant la phase de construction,

4. limitations relatives de l'utilisation du sol,
5. accroissement des radiations électromagnétiques,
6. nuisances sonores.

La pollution acoustique due aux parcs éoliens représente l'impact environnemental majeur, particulièrement dans les cas d'installation d'un grand nombre de turbines de taille importante. Leur bruit de fonctionnement ressemble au bruissement des roseaux. Lorsqu'une turbine fonctionne, 4 types de sons sont produits :

- sons toniques à cause des engrenages à fréquences distinctes,
- sons vibratoires à amplitude variable,
- sons à large spectre avec répartition égale entre les fréquences moyennes et hautes (>100 Hz), et enfin
- sons de basses fréquences (20 – 100 Hz). [5]

Le bruit d'une turbine peut être mécanique ou aérodynamique. Le bruit mécanique est produit par les pièces ; il est plutôt tonique et des sons à large spectre peuvent s'ajouter. Le bruit aérodynamique provient de la rotation et des caractéristiques géométriques des ailes. Les bruits de basses fréquences sont dus aux caractéristiques géométriques de la tour à l'emplacement des flux d'air (amont ou aval). [6] Les turbines actuelles sont conçues de manière à atteindre un faible niveau sonore (sans tonicité)

lorsqu'elles sont en fonctionnement et un rendement aérodynamique accru. Les niveaux de bruit courants se situent entre 55 et 45dB(A) pour une distance allant de 40 à 200 m. La pensée dominante selon laquelle les vitesses maximales du vent recouvrent le bruit de fonctionnement des turbines a conduit à l'établissement d'une limite conventionnelle de 500m définie comme devant être la distance minimale séparant un parc éolien d'une localité proche [4, 7]

2. L'énergie éolienne en Grèce – Cadre légal

Malgré un ensoleillement et des vents particulièrement abondants, la Grèce reste dépendante des combustibles fossiles pour la production d'énergie électrique. Conformément au Protocole de Kyoto, pour réduire ses émissions de gaz polluants, la Grèce doit alimenter sa production d'électricité en ayant recours à des sources d'énergie renouvelable à hauteur de 29 % jusqu'en 2020. [3]

La Grèce bénéficie d'un climat méditerranéen et d'un relief géographique riche, conditions adéquates pour le développement de l'énergie éolienne en tant que source d'énergie renouvelable compétitive. [2] Conformément au Cadre spécifique d'aménagement du territoire concernant les sources d'énergie renouvelable, la localisation d'un parc éolien se distingue comme suit : [3]

- sites naturels bénéficiant d'une protection totale sur lesquels la définition de conditions spécifiques est requise,
- monuments archéologiques présentant un intérêt mondial, avec une distance minimale d'installation de 3000 m,
- localités traditionnelles ou installations existantes, avec une distance minimale d'installation de 1500 m (pour les nouvelles installations, une distance 2500 m du parc éolien est requise),
- villes de plus 2000 habitants ou ensembles urbains organisés de moins de 2000 habitants, avec une distance minimale d'installation de 1000 m,
- sites archéologiques protégés, avec une distance minimale d'installation égale à 7d, d correspondant au diamètre des pales d'une turbine (distance minimale égale à 500 m)
- autres localités ou monastères, avec une distance minimale d'installation égale à 500 m,
- habitations isolées, avec un seuil de bruit requis de 45 dB.

3. Énergie éolienne et propagation du son

Le bruit de fonctionnement des turbines actuelles devient perceptible dès lors qu'il y a un vent de vitesse moyenne. En cas de vitesse élevée (> 8 m/s), il est difficile de distinguer le bruit car la nuisance est couverte ou confondue avec les bruits de fond provenant de la nature, des activités humaines et de la circulation ; par ailleurs, elle varie en fonction de l'heure, de la saison et des conditions météorologiques. [5]

L'emplacement relatif de la zone protégée par rapport aux sources de nuisance représente le principal facteur d'évaluation de la localisation d'une installation technique. Lorsque la source se trouve en aval, l'influence d'une

excavation intermédiaire est décrite à l'aide du facteur de correction. Sur les reliefs plats, la limitation des cônes d'émission - réception dépend généralement de l'interposition de plantations ou de barrières anti-bruit artificielles. Enfin, lorsque la source du bruit se trouve en amont, l'isolation acoustique nécessitera la mise en place de barrières anti-bruit d'une hauteur effective importante. [8]

Selon la théorie classique, l'intensité sonore prévue dans des conditions de propagation du son à l'air libre est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$I\theta = I\pi - 10 \cdot \log(d / d_0) - \Sigma 10 \cdot \log(P_i) \quad (1)$$

$I\pi$ correspondant au niveau de bruit de la turbine, $I\theta$ au niveau de bruit du point d'observation, d à la distance de référence au cours de la mesure d'émission sonore à la source et d_0 correspondant à la distance en ligne droite de la turbine. Les paramètres du modèle (P_i) tiennent compte également des caractéristiques de la source sonore, de l'absorption du son dans l'air, de l'incidence du sol et du relief de la région ainsi que des conditions climatiques et météorologiques. [8, 9]

Pour l'estimation du bruit de fonctionnement d'un parc éolien, il a été proposé un modèle spécifique de propagation hémisphérique reposant sur la formule suivante :

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log(2\pi R^2) - aR \quad (2)$$

L_p (dB) correspondant au niveau de bruit à une distance R de la source sonore, L_w (dB) correspondant au niveau de puissance (communiqué par le fabricant de la turbine) et a correspondant au coefficient d'absorption du bruit dans l'air. [10]

Les mesures du niveau de bruit d'un parc éolien à l'emplacement de l'installation et dans les zones protégées sont effectuées de manière combinatoire (en prenant en compte les turbines en fonctionnement et hors fonctionnement) selon la méthodologie dictée par les normes internationales. [5] Dans plusieurs pays, les règlements déterminent une limite maximale d'exposition au bruit ; dans d'autres, des limites différentes sont définies pour le jour et la nuit. En Grèce, la limite maximale est de 65 dB(A) dans les zones commerciales, 55 dB(A) dans les zones mixtes commerciales - résidentielles et 45dB(A) dans les zones purement résidentielles. [1] Il convient de souligner que, en cas de production de bruit tonique, les règlements européens prévoient une augmentation du niveau de nuisance de 5dB(A), c'est-à-dire que si une turbine produit un sifflement fort dans une zone où la limite est fixée à 45 dB(A), celui-ci ne doit pas dépasser le niveau de bruit de fonctionnement de 40 dB(A). [5]

4. Champ de l'étude

Cette étude a été réalisée dans la localité de Monastiri de la commune de Kechros située dans le département du Rhodope. Ce département a été appelé ainsi d'après la chaîne de montagnes portant le même nom qui constitue la frontière naturelle entre la Grèce et la Bulgarie ; il dispose de ressources en eau remarquables, a un indice de pluviosité élevé et des espaces naturels protégés. [6]

La commune de Kechros est située au nord du département du Rhodope (altitude 900 m) et englobe 12 localités avec une population de 1558 habitants, des Pomaques musulmans (recensement 2001) dont les activités principales sont la culture du tabac et l'élevage d'ovins et de caprins. Seul l'axe principal de la région est goudronné,

il existe un dispensaire et le collège - lycée le plus proche se trouve à 45 km de Kechros. [11] Le fort potentiel éolien de la région associé au réseau d'électricité existant et au comportement coopératif des collectivités locales ont constitué les principaux critères de choix en vue d'une importante installation composée de 5 parcs éoliens comprenant 71 turbines.

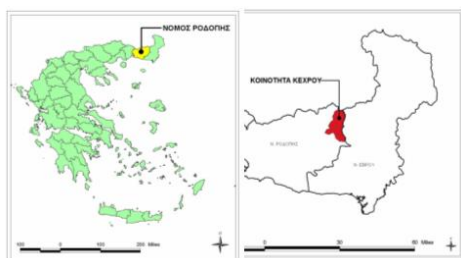


Figure 1 : La région de Kehros au N-E de la Grèce

Monastiri est situé dans une région montagneuse avec une végétation riche et un relief marqué (altitude 780 m). Il y a 79 habitants permanents dont l'activité principale est l'élevage d'ovins et de caprins. Cette localité dispose d'une place avec un café et d'une école élémentaire pour les minorités ; en outre, elle est desservie par les services publics de Kechros. Les habitants se déplacent exclusivement avec leurs véhicules privés en utilisant la route de terre ou la nouvelle voie forestière desservant le parc éolien. [6] La localité n'est pas structurée selon un plan urbain officiel et forme un ensemble d'habitations de pierre dispersées sur les flans de la montagne. Au cours des dernières années, les habitants ont utilisé des matériaux de construction modernes (béton, briques, tuiles, ossatures en aluminium) pour des juxtapositions ou des réparations, entraînant ainsi une altération partielle du caractère architectural de la localité.



Figure 2 : Le village Monastiri et l'installation éolien

5. Procédure et résultats de l'étude

La présente étude vise à déterminer le confort acoustique des habitants d'une localité située à proximité d'un parc éolien. Le village Monastiri a été choisi car il subit l'impact le plus important (les autres localités étant plus éloignées ou ne subissant pas d'impact direct en raison des emplacements de l'installation.[12] Le parc éolien de l'emplacement «MONASTIRI I» comprend 8 turbines de type NORDEX N50/800 (niveau sonore 108 dB(A), hauteur de la tour 46 m, diamètre de pale 50 m, puissance nominale 800 kW).

Au cours de la phase de préparation, les emplacements des mesures d'émissions sonores ont été définis et les distances relatives calculées à l'aide du logiciel de contrôle Google Earth. Ensuite, des visites ont été organisées auprès des organismes impliqués, permettant ainsi de collecter des informations concernant les problèmes de la région et les données des installations. D'après nos renseignements, aucune phase d'information et de consultation n'a précédé l'installation des unités. Au cours de la phase initiale de fonctionnement du parc éolien, les habitants ont exprimé des doléances sérieuses concernant le bruit des turbines (particulièrement pendant l'hiver lorsque soufflent des vents du Nord). Cependant, leur réaction n'a pas été prise en compte de manière officielle par la commune de Kechros ; en effet, elle a d'abord été sous-estimée puis ignorée en raison d'une accoutumance progressive à l'environnement sonore. Les doléances concernent désormais la gestion des avantages compensatoires compte tenu du fait que les installations n'ont pas créé de nouveaux emplois et n'alimentent pas la région en électricité gratuite ; en outre, la taxe rémunératoire perçue par la commune de Kechros (3 % des recettes brutes) n'a pas financé d'investissement important sur Monastiri et les conditions de vie des habitants ne se sont pas améliorées. [12]

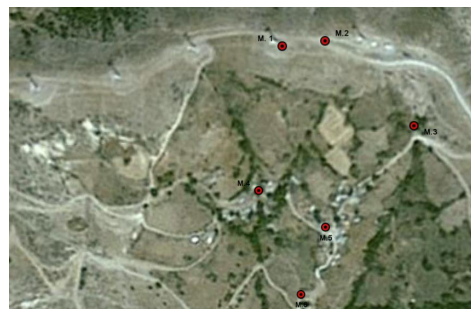


Figure 3. Les emplacements des mesures sonores au village Monastiri

Au cours de l'étude, trois (3) visites de recherche ont été réalisées :

-1^{ère} visite, 16/11/2008 (11h12-13h57), vent du Sud, vitesses allant de 4,0 à 4,5 m/s. A l'arrivée, seule 1 turbine sur 8 fonctionnait et 3 autres ont été mises progressivement en fonctionnement (4 turbines au total). En raison des conditions météorologiques particulières, nous estimons que les niveaux enregistrés sont inférieurs à ceux attendus à tous les points d'observation.

-2^{ème} visite, 8/12/2008, (12h46-14h05), vent du Nord-Ouest, vitesses allant de 4,1 à 7.4 m/s. La totalité du parc éolien fonctionnait et la nuisance était perceptible dans toute la région. Plus particulièrement, au point 4 (l'habitation la plus proche du parc éolien), le niveau de bruit le plus élevé de 48,3 dB(A) a été enregistré ; ce chiffre dépasse en effet la limite maximale de 45 dB(A) établie par la législation grecque et excède amplement la limite de 35 dB(A) acceptée par le règlement grec en matière de construction concernant le confort acoustique dans les zones résidentielles.

-3^{ème} visite, 27/05/2009, (18h37-19h30), vent du Nord-Est, vitesses allant de 5,0 à 5,5 m/s. Le parc éolien fonctionnait à nouveau dans sa totalité et les chiffres recueillis ont corroboré les mesures d'émissions sonores précédentes. Il est à noter qu'à tous les points d'observation les niveaux mesurés répondent au modèle standard de la

propagation du son à l'air libre, à l'exception du point 6 (à l'extérieur de l'école) où, en raison de la baisse du vent (et du bruit primaire de la source), le niveau enregistré est anormalement faible (40,3 dBA) par rapport à la distance et au relief de la région.

Lors de chaque visite, une série standard de mesures d'émissions sonores a été répétée sur les six (6) points d'observation choisis :

- point 1, distance de 6 m de la 2^{ème} turbine (pondération du bruit de source),
- point 2, entre les turbines 1 et 2 (distance 65 m),
- point 3, à l'entrée de la localité (distance 168 m de la 1^{ère} turbine),
- point 4, habitation située au Nord de la localité (distance 248 m de la 2^{ème} turbine),
- point 5, sur la place du village (distance 320 m de la 2^{ème} turbine),
- point 6, à l'école de la localité (distance 440 m de la 2^{ème} turbine).

dB(A) / Emplacement	1 ^{ère} m	2 ^{ème} m	3 ^{ème} m
Point 1	60,3	63,9	64
Point 2	55,2	57,2	60
Point 3	42,8	49,6	-
Point 4	44,7	48,3	46
Point 5	43,2	47,1	-
Point 6	37,3	40,3	38

Table 1 : détails des styles utilisés en fichier .doc

Emplacement	I_{π}	d (m)	I_{μ}	I_v	+/- dB(A)
p 2	63.9	65	57.2	56.6	0.6
p 3	63.9	168	49.6	49.4	0.2
p 4	63.9	248	48.3	47.7	0.6
p 5	63.9	320	47.1	46.6	0.5
p 6	59	440	40.3	40.3	0.0

Table 2 : détails des styles utilisés en fichier .doc

Au cours de ces mesures d'émissions sonores, les niveaux de bruit de fonctionnement des turbines, du bruit de fond, les données météorologiques et la durée de la mesure ont été renseignés dans un formulaire de transcription. En parallèle, les coordonnées de l'emplacement ont été enregistrées (sur un GPS) afin de déterminer précisément les distances correspondantes. Les mesures d'émissions sonores ont été réalisées grâce à un sonomètre numérique et analogique (type 1). Les indications ont été enregistrées en niveaux équivalents Leq (10min), en niveaux sphériques maximum (échelle A et Lin) et en fréquences d'octaves (de 63 à 4000 Hz). Lors de la 2^{ème} et 3^{ème} visite, les données météorologiques ont été croisées avec des éléments provenant du poste de contrôle de l'installation.

Les résultats des mesures d'émissions sonores aux emplacements sélectionnés figurent dans le tableau 2.

6. Modèles de prévision de la pollution acoustique

Les mesures d'émissions sonores ont été suivies d'une phase de calcul et d'estimation de la pollution acoustique conformément à trois (3) modèles distincts :

- le modèle standard d'atténuation en raison de la distance dans des conditions de propagation du son à l'aire libre (formule 1),
- le modèle spécifique de calcul du bruit de fonctionnement des parcs éoliens (formule 2),
- le modèle informatique de prévision Wind PRO (DECIBEL, Assumptions for noise calculation, version 2.5.7.83, 2007).

Le tableau 2 présente les résultats des mesures (I_v) de la propagation du son à l'air libre à ondes cylindriques (formule 1) aux points d'observation (les distances enregistrées d proviennent d'une carte numérique, la distance de référence étant égale à 6 m) et sont comparées au données de la 2^{ème} série de mesures (I_{μ}).

Comme le montre la comparaison, les données de mesure et de calcul sont très proches ($\pm 0,6$ dBA) et la répartition des valeurs estimées est particulièrement régulière, à l'exception du point d'observation 6 (l'école) situé à une distance de 440 m de l'installation. Toutefois, cette valeur non congruente nous permet de corriger le niveau de bruit à la source, en raison de l'importante baisse des vitesses du vent (environ -5 dB(A) depuis le début de la mesure).

En examinant les distances imposées afin que la nuisance escomptée soit inférieure aux limites de 45 (ou 35) dB(A) établies par les règlements grecs [le niveau de référence standard étant de 63,9 dB(A)], il apparaît que le parc éolien devrait se situer à 465 m (ou respectivement 1450 m) de la localité de Monastiri et non à 250 m comme c'est le cas actuel. Ainsi, même au point 6 le plus éloigné (à l'extérieur de l'école), le niveau de nuisance escompté est supérieur à la limite de 45 dB(A) prévue par l'étude d'impact sur l'environnement. La répartition des intensités sonores dans la région de la localité est illustrée à la figure 4 dont l'axe horizontal représente les distances réelles des points d'observation de la turbine à l'origine du bruit et l'axe vertical représente les niveaux de bruit de fonctionnement.

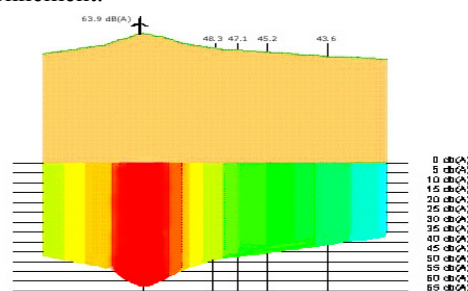


Figure 4. La répartition de la nuisance sonore dans la région de la localité conformément au modèle de propagation du son à l'air libre.

Il apparaît ainsi que la perception subjective du bruit est réelle et confirmée par les mesures d'émissions sonores ; la nuisance se distingue bien car le bruit de fond de la région est particulièrement faible. Cette évolution aurait pu être prévue même grâce au modèle standard de calcul de propagation du son à l'air libre. Par conséquent, des mesures supplémentaires d'isolation acoustique doivent être prises pour que le parc éolien Monastiri I continue à fonctionner.

Lors de l'appréciation de la nuisance sonore conformément au modèle spécifique de propagation hémisphérique du son (formule 2, niveau de bruit maximum 108 dB(A), vitesse du vent 8 m/s, mesure réalisée à une hauteur de 10 m du sol et coefficient d'absorption du son $\alpha=0,005$ dB/m pour une fréquence de 1000 Hz), il ressort que le niveau de bruit escompté de la 2^{ème} turbine, en amont de l'habitation la plus proche de la localité (distance 248 m), est de 50,89 dB(A). La figure 5 montre que, conformément à ce modèle de prévision, un niveau de nuisance toléré de 45 / 35 dB(A) requiert des distances d'environ 440 / 1000 m respectivement.

En appliquant les mêmes données au modèle informatique de calcul de l'Association danoise de l'industrie éolienne (Danish Wind Industry Association), il apparaît que l'impact sonore de l'ensemble des 8 turbines augmente d'environ 4 dB(A) la nuisance au point 4 (l'habitation la plus proche), portant ainsi le total à environ 55 dB(A).

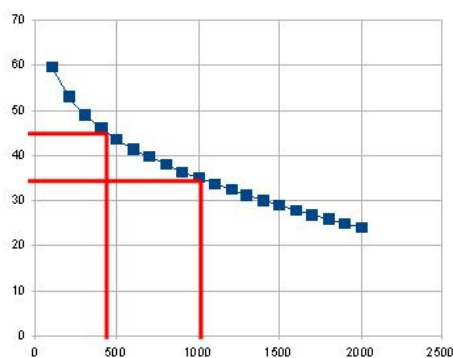


Figure 5. Evolution du niveau sonore de la source en fonction de la distance

L'illustration des données informatiques ci-dessus, reposant sur le fonctionnement de la totalité du parc éolien, (figure 6), avec une grille topographique à 50 m et un contraste des couleurs en fonction de l'intensité du bruit. Il apparaît ainsi que l'impact sonore prévu sur l'ensemble de la localité varie entre 50 et 54 dB(A).

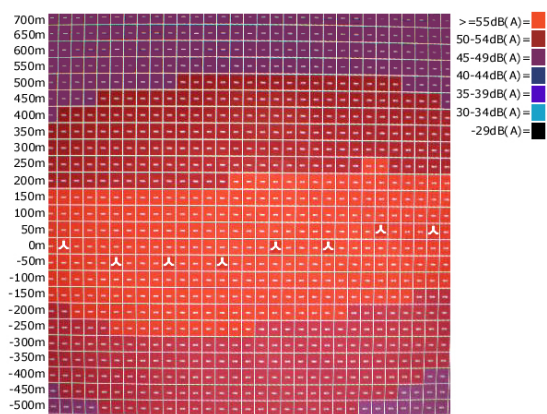


Figure 6. Niveaux de bruit de fonctionnement [Association des fabricants danois de turbines éoliennes]

Enfin, les résultats sont semblables avec ceux du modèle informatique de prévision Wind PRO (version 2.5.7.83 – 2007), qui a été appliqué avec des hypothèses similaires (niveau sonore maximum de la turbine 107 dB(A), vitesse du vent 10 m/sec, distance de l'emplacement 253 m, en amont de la 2^{ème} turbine). Comme le montre la figure 7

(MAP – KEXROS, Wind farm WT1 – WT8), l'ensemble de la localité est couvert par les courbes de bruit régulières de 50 / 55 dB(A), variation qui va de 49,2 dB(A) au point 6 de l'école à 54 dB(A) à l'emplacement 4 de l'habitation la plus proche.

7. Conclusions

Conformément à la législation grecque, une distance minimale de 500 m doit séparer l'installation d'un parc éolien de la dernière habitation de la localité la plus proche, avec un niveau de bruit maximum toléré de 45 dB(A). Comme l'ont montré les mesures d'émissions sonores, la nuisance existante est de 48,3 dB(A). En outre, les calculs réalisés dans des conditions de fonctionnement de la totalité du parc éolien, aussi bien à l'aide du modèle standard de propagation du son à l'air libre que d'un programme informatique spécifique, établissent la nuisance escomptée entre 49,2 et 55 dB(A).

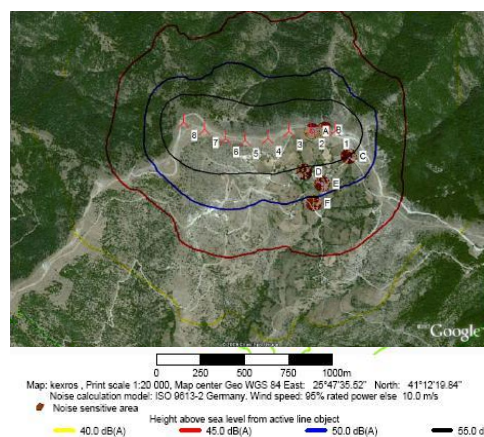


Figure 7. Niveaux de bruit de fonctionnement [selon la prévision du logiciel Wind PRO 1997]

Il apparaît donc que ni l'exigence topographique ni l'exigence sonore n'ont été respectées sur la localité de Monastiri, entraînant ainsi un sérieux problème de pollution acoustique du au parc éolien. Le renforcement systématique de la construction des habitations de la localité (nouvelles ossatures, doubles vitrages, vitrages isolants thermiques) sous la responsabilité de l'entreprise, représenterait une intervention limitée mais encourageante. En effet, une telle intervention, associée à la maçonnerie traditionnelle de pierre du revêtement existant augmenterait de manière importante la capacité d'isolation sonore des constructions.

Par ailleurs, il est évident que les seuils fixés par la législation grecque ne sont pas en mesure de protéger le confort acoustique des habitants d'une localité existante. Il s'agit d'une disposition insuffisante du point de vue scientifique ; en effet, les limites topographiques devront, selon les cas, être deux ou trois fois supérieures afin de garantir le niveau de bruit minimum de 35 dB(A) imposé par les règlements européens relatifs à l'isolation acoustique.

D'une manière générale, pour lutter contre le bruit de fonctionnement d'un parc éolien il est nécessaire de réduire la pollution acoustique à la source (améliorations mécaniques) et/ou de minimiser la nuisance dans la zone protégée (cadre institutionnel, aménagement du territoire).

Il est facile de constater que la région où l'étude a été réalisée est soumise à des vents puissants venant du Nord,

phénomène qui remet complètement en cause la localisation de l'installation au Nord et en amont de la localité. Le moyen généralement utilisé pour atténuer le bruit de l'environnement est l'absorption du bruit grâce à des plantations ; toutefois, dans le cas des parcs éoliens, cette solution n'est pas envisageable car de telles plantations feraient obstacle au vent. Ainsi, la localisation des parcs éoliens à proximité de localités nécessite avant tout de déterminer des distances appropriées et de prévoir des barrières anti-bruit.

Références

- [1] MEATTP, «Données, Actions, Programmes de Protection de l'Environnement», Athènes, juillet 1995
- [2] Kaldelis, K.I. «Gestion de l'Energie Eolienne», Éditions Stamouli, Athènes, 1999
- [3] MEATTP, «Cadre Spécifique d'Aménagement du Territoire et de Développement Durable pour les Sources d'Energie Renouvelable», Athènes, janvier 2008
- [4] GREEN PEACE, «Mythes et Réalité de l'Energie Eolienne», www.greenpeace.org
- [5] Rogers A.S, Manwell J. F, Wright S, "Wind Turbine Acoustic Noise", *Renewable Energy Research Laboratory*, University of Massachusetts, June 2002
- [6] Vavalekas, K. «Etude d'impact environnemental», *Anemos AE*, Serres, 2005
- [7] Magazine «Anemologia», Edition de l'Union Scientifique Grecque de l'Energie Eolienne, N° 44, 2007, www.eletaeen.gr
- [8] Barkas, N. «L'isolation acoustique comme paramètre de conception dans l'architecture de paysage», *Actes du Congrès «Architecture de Paysage»*, Université Aristote de Thessalonique, Thessalonique, juin 2005
- [9] Stryjenski J. «L'Acoustique Appliquée à l'Urbanisme», Les Editions Techniques, Genève, 1975
- [10] Danish Wind Industry Association "Designing for Low Mechanical, for Low Aerodynamic Noise from Wind Turbine », May 2003, www.windpower.org
- [11] Région de Macédoine Est-Thrace, «Informations démographiques de la Commune de Kechros»
- [12] Sklavounos A. –Papaditsi, S., « Isolation acoustique des localités situées à proximité de parcs éoliens», Rapport d'épreuve, Département d'Architecture, Faculté Polytechnique, Université Démocrite de Thrace, Xanthe, juin 2009