



Conseil consultatif canadien de la radio (CCCR)

Association canadienne de l'énergie éolienne

**Information technique et Lignes directrices
pour
l'évaluation de l'impact potentiel
des
éoliennes
sur
les systèmes de radiocommunication, radar
et
sismoacoustiques**

Juin 2008

Table des matières

Avant-propos	4
1. Impact des éoliennes sur les systèmes de radiocommunication, radar et sismoacoustiques	5
1.1 Généralités	5
1.2 Impact sur les systèmes de radiocommunication	5
Ombrage.....	6
Les réflexions de type miroir	6
Dispersion.....	6
Obstructions géographiques	6
Obstructions géographiques	7
Zones touchées	7
Mesures d'atténuation – Systèmes point à point.....	7
Mesures d'atténuation – Réseaux de type diffusion.....	7
1.3 Impact sur les systèmes radars	8
Blocage.....	8
Échos parasites	8
Signal Doppler	8
La question des radars de la Défense aérienne	9
Impact sur les radars de contrôle de la circulation aérienne.....	9
Mesures d'atténuation.....	9
1.4 Impact sur les systèmes sismoacoustiques	10
Effets nuisibles du bruit et des vibrations	10
Mesures d'atténuation.....	10
2. Coordination de l'information.....	11
Tableau 1 – Liste de coordination des contacts.....	11
3. Calcul de la zone de consultation.....	16
3.1 Liaisons de radiocommunication point à point	16
Exemple:.....	16
3.2 Récepteurs de radiodiffusion près des éoliennes.....	17
Récepteurs de télévision analogique et numérique y compris les récepteurs domestiques	17
Exemples:	18
3.3 Stations satellites terrestres	19
Stations satellites terrestres y compris les récepteurs de diffusion directe (DTH).....	19
Exemple:.....	19
Glossaire des termes	20

Glossaire des sigles	21
Références	22

Avant-propos

Les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce document appuient entièrement l'exploitation des sources d'énergie alternatives et reconnaissent qu'une exploitation efficace et appropriée de ces sources d'énergie est bénéfique à l'environnement et à l'économie.

Corrélativement, ils admettent que les systèmes radio, de télécommunication, radar, et sismoacoustiques sont aussi importants pour les Canadiens.

Par conséquent, le but de ce document est de faciliter la cohabitation entre ces systèmes et ceux qui permettent l'exploitation de l'énergie éolienne grâce à un partage d'information rapide et efficace.

Dans certaines circonstances, la présence d'une éolienne, qu'elle soit seule ou à l'intérieur d'un parc éolien, peut altérer le fonctionnement des systèmes radio, de télécommunication, radar et sismoacoustiques à l'intérieur d'un périmètre autour des éoliennes. On recommande une consultation préalable entre les dépositaires d'enjeux pour s'assurer qu'une telle installation ne soit pas source de brouillages inacceptables, ce qui pourrait, conséquemment, engendrer une augmentation du coût ou des retards dans une future étape du processus d'aménagement du parc éolien.

Pour éviter les difficultés potentielles, il est recommandé de suivre la procédure suivante :

- Étape 1. Le promoteur du projet éolien dresse une carte qui montre l'emplacement du projet de parc éolien et de ses éoliennes.
- Étape 2. Le promoteur consulte alors les Lignes directrices incluses dans ce document pour déterminer s'il y aurait un risque que le projet de parc éolien puisse avoir un impact sur les systèmes radio, de télécommunication, radar ou sismoacoustiques dans cette région.
- Étape 3. Dans le cas où les Lignes directrices démontrent que le projet d'installation pourrait avoir un impact inacceptable sur les communications, le promoteur du projet éolien communique avec les autorités en place pour déterminer si une enquête plus approfondie est nécessaire.
- Étape 4. Le promoteur et les autorités en place entreprennent alors les études nécessaires et les mesures d'atténuation non réglementaires pour résoudre le problème à la satisfaction de chacun.

Les présentes Lignes directrices concernent l'étape 2 du processus ci-dessus. En tant que telles, elles servent d'outils pour la gestion des risques qui permettent aux promoteurs de projets éoliens et aux opérateurs de systèmes radars, radio et sismiques d'éviter n'importe quel conflit possible à une étape peu avancée de l'aménagement d'un parc éolien. Essentiellement, les Lignes directrices fournissent une batterie de méthodes d'analyse et des seuils critiques qui aident à déterminer quand peut se produire un brouillage, le promoteur pouvant alors s'en servir pour avertir les autorités en place sur une base volontaire mais grandement recommandée (étape 3 du processus ci-dessus). *Les Lignes directrices ne prétendent pas être un document réglementaire et ne devraient pas, non plus, servir de fondement à une décision réglementaire.*

Il est important de souligner que les Lignes directrices en elles-mêmes ne peuvent servir à déterminer si un brouillage inacceptable va effectivement se produire. Déterminer si oui ou non une éolienne ou un parc éolien peuvent générer un niveau de brouillage inacceptable avec les systèmes radio, de télécommunication, radar et sismoacoustiques est très compliqué et il est impossible de déterminer catégoriquement si un brouillage va se produire sans que soit entreprise une analyse propre au site. L'ampleur de cette analyse propre au site et les mesures d'atténuation entreprises (étape 4 du processus ci-dessus) ne seront pas abordées dans ces Lignes directrices.

Un groupe de dépositaires d'enjeux a préparé ce document qui fait office d'accord général en ce qui concerne l'approche analytique et les seuils acceptables pour le Canada. Dans les limites du possible, il est cohérent avec les documents existants ou en-cours d'élaboration dans d'autres pays.

1. Impact des éoliennes sur les systèmes de radiocommunication, radar et sismoacoustiques

1.1 Généralités

Des études¹ ont démontré que les pales rotatives et la structure supportant une éolienne peuvent avoir un impact sur les signaux RF (radiofréquence) de type AM (modulation d'amplitude). Les signaux FM (modulation de fréquence) sont beaucoup moins sensibles à ce phénomène et ne peuvent être affectés que très près d'une éolienne.

L'expérience et les études² en Europe et aux États-Unis prouvent qu'à la fois la structure supportant l'éolienne et les pales rotatives d'une éolienne peuvent provoquer un brouillage aux signaux radar Doppler ou conventionnels. Les éoliennes qui sont dans la « ligne de vue » des radars peuvent avoir un impact négatif sur les données du radar.

Une étude approfondie³ de l'effet microsismique et infrasonique du bruit et des vibrations de basse fréquence qui proviennent des parcs éoliens a montré que les éoliennes peuvent avoir un impact négatif sur le matériel de surveillance sismoacoustique (sismologique et infrasonique) qui peut faire diminuer leur sensibilité et réduire leur efficacité dans la détection des séismes et des explosions nucléaires. Les éoliennes causent des vibrations terrestres détectables et des signaux acoustiques de basse fréquence dans l'atmosphère qui augmentent proportionnellement à la force du vent. Plus il y aura d'éoliennes, plus le niveau de bruit acoustique sera élevé.

Considérant ce qui précède, les systèmes suivants peuvent être affectés par la proximité d'éoliennes :

- Sites de réception hertzienne des câblo-distributeurs (têtes de ligne);
- Liaisons satellite ascendantes et systèmes de réception;
- Systèmes de réception de diffusion directe (DTH), (Star Choice, Bell ExpressVu);
- Radar (météo, défense et circulation aérienne);
- Communications aéroportuaires et systèmes de guidage aéronautiques
- Radiodiffusion - AM, FM et TV;
- Communications de la Garde côtière et systèmes radar du trafic maritime;
- Liaisons de radiocommunication point à point;
- Systèmes point à multipoints;
- Réseaux de type cellulaire et
- Systèmes de surveillance sismologique et infrasonique

Les éoliennes peuvent altérer les signaux radar et de radiocommunication de plusieurs manières notamment par ombrage, réflexions de type miroir, échos parasites ou dispersion du signal.

1.2 Impact sur les systèmes de radiocommunication

Il peut y avoir deux types d'impacts sur les systèmes de radiocommunication : l'impact sur les systèmes de type diffusion (incluant les réseaux de type cellulaire) et l'impact sur les systèmes point à point (comme les liens micro-ondes, les liaisons studio émetteur (LSE), les liaisons émetteur à émetteur (TTL), à une ou deux voies, et les systèmes point à multipoints). Les effets sur la propagation sont principalement reliés au type de modulation utilisée (AM or FM/PM) donc les zones touchées et les mesures d'atténuation seront différentes.

¹ Effects of Wind Turbines on UHF Television Reception, Field tests in Denmark, D. T. Wright, 1991; TV Measurements near Lendrum's Bridge Wind Turbines, J. E. Goodson, 2003

² Différents rapports en liste dans l'annexe.

³ Microseismic and Infrasound Monitoring of Low Frequency Noise and Vibrations From Wind Farms: Recommendations on the Siting of Wind Farms in the Vicinity of Eskdalemuir, Scotland, P. Styles, I. Stimpson, S. Toon, R. England, and M. Wright, 2005

Ombrage

Les obstacles de grande taille comme les bâtiments, les collines ou les parcs éoliens peuvent créer des zones d'ombre qui bloquent la « ligne de vue » entre le récepteur et l'émetteur. Ces zones peuvent être divisées en deux régions : la région « A » dans laquelle la perte de signal causée par le blocage est très importante et où la réception d'un signal utilisable est difficile, voire impossible; et la région « B » dans laquelle le signal est affaibli, mais moins que dans la région « A », ce qui permet au récepteur de recevoir un signal utilisable. Les dimensions de chacune de ces deux régions dépendent de la forme et de la composition de l'obstacle. En général, la région B peut couvrir une distance jusqu'à 10 km à partir de l'obstacle.



Figure 1.1 – Zones d'ombre causées par les structures

Les réflexions de type miroir

Les réflexions de type miroir (spéculaires) se produisent lorsque le signal de l'émetteur rebondit sur un obstacle avant d'être reçu par l'antenne. Ce signal dévié doit parcourir une distance plus longue que le signal direct, ce qui entraîne un retard à la réception. Pour un récepteur AM conventionnel, lorsque les deux signaux sont reçus simultanément et que l'un d'eux est décalé temporellement, le signal décalé peut dégrader le signal direct. Dans le pire des cas, cette dégradation peut aussi se produire avec les récepteurs FM. Ces réflexions se produisent généralement dans la zone de dispersion arrière.

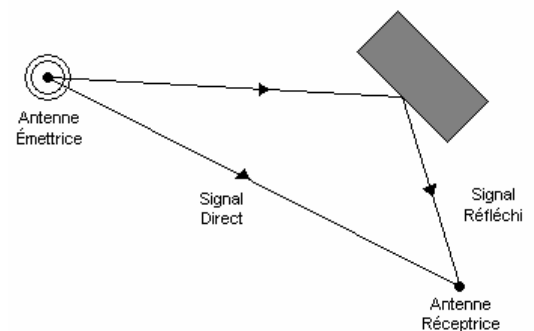


Figure 1.2 – Réflexion de type miroir

Dispersion

Lorsqu'un signal de radiocommunication atteint une éolienne, ses pales rotatives peuvent produire une dispersion pulsée du signal, synchronisée à la vitesse de rotation des pales. Ces pulsations peuvent ajouter un effet Doppler au signal ce qui fait varier l'amplitude et la phase du signal dispersé. Cette dispersion se produit généralement dans la zone de dispersion avant, mais peut aussi se produire dans la zone de dispersion arrière.

À l'intérieur de la zone de dispersion avant, qui couvre un angle de 72° à l'arrière de l'éolienne, l'effet est similaire à celui que cause l'ombrage. L'amplitude et la phase du signal varient en synchronisme avec la vitesse de rotation des pales.

À l'intérieur de la zone de dispersion arrière, qui couvre les 288 degrés restants de l'arc de cercle, l'effet est similaire à celui que cause la réflexion de type miroir. Cependant, ici aussi le signal dispersé varie en amplitude et en phase.

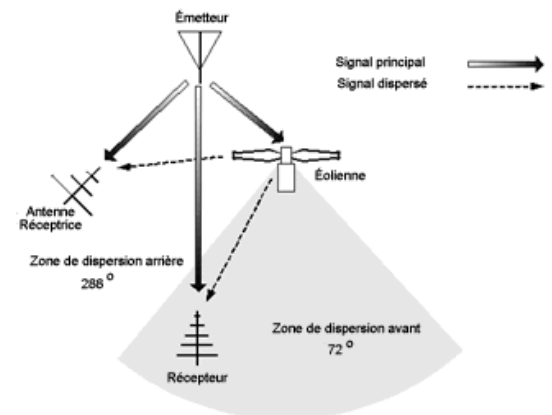


Figure 1.3 – Zone de dispersion avant et arrière

Obstructions géographiques

À l'exception des systèmes radars, l'impact éventuel de la proximité d'éoliennes sur un signal de radiocommunication est amplifié lorsque le parcours direct du signal entre l'émetteur et le récepteur est partiellement obstrué, alors que les parcours du signal entre l'émetteur et les éoliennes et entre les éoliennes et les récepteurs ne le sont pas. Dans ces situations, le rapport signal utile/signal brouilleur (D/U) au récepteur est réduit, ce qui rend encore plus nuisible les effets des éoliennes.

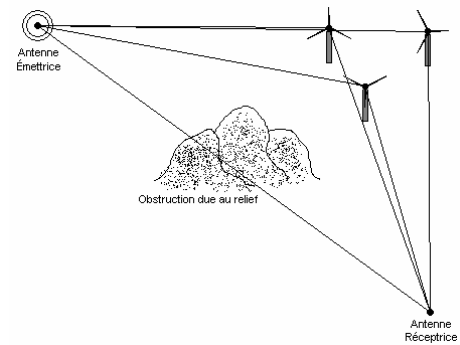


Fig 1.4 – Obstructions géographiques sur le parcours principal du signal

Zones touchées

On peut analyser l'effet que peuvent avoir les éoliennes sur les systèmes de radiocommunication plus facilement si l'on délimite des zones autour des systèmes de radiocommunication en dehors desquelles les effets des éoliennes sont négligeables. S'il y a des éoliennes et des récepteurs de radiocommunication à l'intérieur de ces zones, il faudra procéder à une analyse plus poussée.

Mesures d'atténuation – Systèmes point à point

Dans les zones où les éoliennes pourraient avoir un impact perceptible sur le signal reçu, un certain nombre de mesures d'atténuation peuvent être prises pour réduire ou éliminer l'effet qu'ont les éoliennes sur de tels systèmes.

À l'étape de la planification de la localisation de chacune des éoliennes, les liaisons micro-ondes locales, LSE et TTL devraient être prises en considération. Déplacer une éolienne sur une courte distance pourrait suffire à dégager le parcours du signal de radiocommunication et à éliminer les brouillages potentiels.

Si une attention suffisante est portée lors de la planification du parc éolien, il n'y aura très probablement pas d'impact sur les systèmes de radiocommunication. Si l'on remarque une dégradation à l'étape de l'exploitation du parc, certaines mesures d'atténuation peuvent aussi être prises. Par exemple, remplacer l'antenne réceptrice par un modèle qui élimine mieux les signaux brouilleurs, déplacer l'émetteur ou le récepteur, ou alors, utiliser un autre moyen afin de recevoir l'information (fibre optique ou autre).

Bien que ces solutions ne soient pas toutes techniquement ou économiquement viables pour chaque situation, elles peuvent contribuer, utilisées ensemble ou séparément, à réduire les effets nuisibles des éoliennes.

Mesures d'atténuation – Réseaux de type radiodiffusion

Dans les zones où les éoliennes pourraient avoir un effet perceptible sur les réseaux de type de diffusion, certaines mesures d'atténuation peuvent être prises pour réduire ou éliminer l'effet des éoliennes.

À l'étape de la planification de la localisation de chacune des éoliennes, l'emplacement du site de diffusion, la zone et la population qu'elle dessert devraient être pris en considération. Il pourrait suffire de retirer une éolienne du parcours entre le site de diffusion et la zone habitée desservie, loin de l'agglomération, pour éliminer ou du moins réduire, le potentiel de brouillage, en particulier sur les signaux de radiodiffusion modulés en AM.

À l'étape de l'exploitation du parc, un certain nombre de mesures d'atténuation peuvent aussi être prises, comme changer les paramètres du système du réseau de diffusion et modifier le système d'antenne, ou alors, passer à un autre moyen de recevoir le signal hertzien.

Bien que ces solutions ne soient pas toutes techniquement ou économiquement viables pour chaque situation, elles peuvent contribuer, utilisées ensemble ou séparément, à réduire les effets nuisibles des éoliennes.

1.3 Impact sur les systèmes radars

L'effet que peut avoir une éolienne sur les systèmes radars n'est pas facile à déterminer. Si un parc éolien est dans la « ligne de vue » directe du radar, il sera nuisible à la performance du radar, car les pales rotatives de ses éoliennes peuvent être source de brouillage. Quand les éoliennes sont dans la « ligne de vue » du radar, elles peuvent passer pour de véritables cibles aériennes. Les éoliennes peuvent masquer le signal de la détection d'un avion réel ou désensibiliser le radar dans la zone où se trouve un parc éolien causant ainsi du brouillage, donc des problèmes de sécurité.

Chaque site envisagé devra être étudié séparément. Chaque radar a une zone de service différente, dépendamment de sa localisation et du relief géographique de la zone environnante. Un site potentiel à 50 km d'un radar pourrait avoir un effet très négatif, alors qu'un site à 20 km pourrait n'en avoir aucun.

Blocage

Une seule éolienne à proximité d'un site radar ou un groupe d'éoliennes à distance peuvent bloquer un certain angle du faisceau radar. Le blocage ne devrait pas occulter plus de 10 % de la largeur du faisceau pour ne pas avoir d'impact significatif sur le radar, selon le standard du programme européen OPERA (échange de données et de produits issus des radars météorologiques). La possibilité d'un blocage important pourrait amener une perte de données météorologiques, ce qui pourrait altérer la performance opérationnelle du radar (par ex. la détection des orages, l'intensité des précipitations et des chutes de neige ainsi que les niveaux plus faibles du cisaillement du vent) ce qui pourrait alors empêcher que certaines conditions météorologiques extrêmes soient détectées. Étant donné l'importance d'un impact potentiel que le blocage pourrait avoir sur les radars de contrôle de la défense aérienne ou de ceux du contrôle de la circulation aérienne le seuil d'un niveau de blocage acceptable pourra même être établi à moins du 10 % d'ombrage cité.

Échos parasites

Sont qualifiés de « parasites » les échos brouilleurs sur l'affichage de l'écran radar. Dans le présent cas, les échos parasites sont causés par les éoliennes. L'impact des échos parasites dépend de la section efficace du diagramme de gain radar (RCF) de la structure supportant l'éolienne, des nacelles et de la zone de section efficace des pales rotatives qui, elle, dépend de l'orientation de l'éolienne. Comme l'éolienne peut pivoter de 360 ° sur son axe afin de s'aligner à la direction du vent, la RCF change aussi selon la direction du vent avec une RCF possible maximale équivalente à celle d'un avion de type Boeing 747. Ceci peut avoir un impact négatif sur les données du radar.

Signal Doppler

Les radars météorologiques peuvent utiliser l'effet Doppler pour détecter la mobilité des cibles et cette mouvance est utilisée dans diverses techniques météorologiques. Le radar repère les signaux Doppler non météorologiques provenant de l'extrémité des pales rotatives ainsi que la turbulence de sillage produite par les pales. La dégradation du signal Doppler peut réduire la capacité du radar à détecter une tornade (généralement associée à un temps violent) et un faible niveau de cisaillement du vent (particulièrement important pour les besoins de l'aviation). Les radars météorologiques possèdent des filtres à effet Doppler pour éliminer le brouillage causé par des cibles au sol, mais les éoliennes déjouent ces filtres parce que leurs rotors et pales sont en mouvement. Une entreprise qui aurait l'intention de construire une éolienne à moins de 80 km d'un radar météorologique devrait contacter Environnement Canada par rapport aux impacts possibles et aux mesures d'atténuation.

La question des radars de la Défense aérienne

La fonction du système de défense anti-aérien canadien (ADS) est d'exercer une surveillance aérospatiale qui contribue à la défense de l'Amérique du Nord. L'ADS canadien représente l'engagement du Canada envers le Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord (NORAD) et envers le système d'alerte atmosphérique avancé (AEWS). L'ADS au Canada est composé de 52 radars. Ces radars sont répartis à travers l'Arctique canadien, les régions côtières et intérieures.

Les radars de la Défense aérienne (DA) doivent être en mesure de suivre la trace des cibles amies ou ennemies à l'intérieur du périmètre aérospatial canadien. Or, des études poussées ont montré que les éoliennes causent un certain nombre de problèmes sérieux aux radars de la DA. Ces problèmes comprennent la suppression du signal, la réduction de la capacité du radar à reconnaître les cibles réelles, les échos parasites, la détection de fausses cibles et les comptes rendus inexacts sur la position des cibles réelles.

Une entreprise qui aurait l'intention de construire un parc éolien à moins de 100 km de rayon d'un radar de la DA devrait contacter le ministère de la Défense nationale (MDN). Le MDN est en mesure de déterminer si le parc envisagé est à l'intérieur de la « ligne de vue » d'un faisceau radar ou si des problèmes de brouillage peuvent survenir. Afin d'éviter tout brouillage possible avec les radars de la défense aérienne qui contribuent au soutien de la souveraineté nationale, il est important de communiquer avec les autorités compétentes avant de construire un parc éolien.

Impact sur les radars de contrôle de la circulation aérienne

Les éoliennes qui se trouvent dans la « ligne de vue » d'un radar de contrôle de la circulation aérienne (ATC) peuvent avoir un impact significatif sur leur capacité à assister le service de la circulation aérienne (ATS). Cet impact se traduit par une forme d'obscurcissement et la présence d'échos parasites à l'écran. Ceci est le résultat de fortes réflexions du signal radars sur la section efficace en radar de cibles mouvantes comme les éoliennes. Les contrôleurs ATC doivent toujours honorer la présence de l'apparition d'un écho radar sur leur écran et le traiter comme un réel aéronef. Les échos parasites à l'écran sont donc un problème important. À l'approche de l'aéroport, les avions sont pilotés selon les règles de vol aux instruments (IFR) et se fient sur l'ATC pour se tenir à distance des autres avions. Il n'est pas du tout souhaitable qu'un avion en approche ait à manoeuvrer latéralement pour éviter d'autres contacts radars inconnus et en particulier ceux générés par les éoliennes. Le fait de voler au-dessus ou à proximité d'une éolienne peut sérieusement entraver la capacité d'un contrôleur ATC à reconnaître son propre appareil et à procurer un ATS efficace.

Un parc éolien à proximité d'un aéroport n'est pas compatible avec les opérations ATC. Une distance latérale d'au moins 10 km devrait être maintenue entre les éoliennes et les zones où s'effectuent les opérations ATC critiques. Un promoteur éolien qui envisagerait la construction d'une éolienne ou d'un parc éolien dans un rayon de 60 km d'un radar de recherche primaire de contrôle de la circulation aérienne devrait déterminer si la ou les éoliennes seront à l'intérieur de la « ligne de vue » du radar et devrait estimer leur effet potentiel sur la prestation de service de la circulation aérienne.

Mesures d'atténuation

Dans les zones où les éoliennes pourraient avoir un impact perceptible sur les systèmes radars, un certain nombre de mesures peuvent être prises pour réduire l'effet des éoliennes sur les systèmes radars.

Les éoliennes peuvent altérer les signaux des radars météorologiques par blocage partiel ou total et générer des échos parasites intenses (au sol) ou Doppler (à largeur spectrale étendue). L'installation de filtres logiciels ou de masques peut réduire ou éliminer les impacts des échos parasites. Cependant, ceux-ci peuvent parfois provoquer des zones mortes ou la disparition de données sur l'écran radar dans certaines régions. Réduire la section efficace du diagramme de gain radar (RCF) en réarrangeant ou en démenageant les éoliennes sur une courte distance peut aussi mitiger l'impact causé par un parc éolien. Un matériau absorbant les ondes radar ou antireflet de ces

ondes peut être employé comme matériau de rechange pour la construction des éoliennes et les coûts additionnels ainsi engendrés peuvent être minimes ou insignifiants.

Les éoliennes peuvent aussi avoir un effet sur les radars de contrôle de la défense aérienne et de la circulation aérienne par blocage ou production d'échos parasites. Les filtres logiciels parviennent de façon limitée à éliminer ces échos, alors que les tests avec de nouvelles versions se poursuivent. La réduction de la RCF de l'éolienne, est aussi, tel que mentionné ci-dessus, une autre possibilité. Dans le cas où un promoteur éolien éventuel voudrait savoir si un site envisagé, à moins de 100 km d'une tête radar, serait acceptable en termes de brouillage aux signaux radar, il peut contacter le service compétent. Des simulations seront effectuées et une réponse, contenant les détails du résultat de l'analyse, sera envoyée au promoteur.

1.4 Impact sur les systèmes sismoacoustiques

Bien que la question sismoacoustique sorte du cadre habituel des compétences du Conseil consultatif canadien de la radio, elle a été ajoutée à ce document pour s'assurer que les promoteurs éventuels soient au fait de tous les champs d'intérêt concernant les effets possibles de la présence d'éoliennes

Effets nuisibles du bruit et des vibrations

Le bruit et les vibrations de basse fréquence qui proviennent des éoliennes peuvent entraver sérieusement la capacité d'une station de surveillance sismologique à détecter et à enregistrer les signaux de mouvement du sol de basse amplitude liés à des séismes ou des explosions nucléaires éloignées. De la même manière, l'introduction de bruit de basse fréquence dans l'atmosphère peut réduire la capacité du matériel de surveillance d'infrasons à détecter et à enregistrer les explosions atmosphériques.

Aucune éolienne ne devrait être construite à moins de 10 km d'un réseau de surveillance sismoacoustique. Avant qu'une éolienne soit construite à moins de 50 km d'un réseau de surveillance, on devra préalablement déterminer si les l'affaiblissement de la détection occasionnée sont dans les limites du raisonnable. Outre les réseaux de surveillance, les éoliennes situées à quelques kilomètres des stations de surveillance isolées peuvent aussi avoir un impact négatif et l'emplacement envisagé des éoliennes dans le voisinage de ces stations de surveillance devra aussi faire l'objet d'une étude.

Mesures d'atténuation

Le seul moyen d'atténuer les effets des éoliennes, dans leur conception actuelle, sur le matériel de surveillance sismoacoustique est d'en limiter le nombre construit à proximité des installations de surveillance. On devra déterminer le niveau total acceptable de bruit sismique et acoustique produit par les éoliennes à moins de 50 km des installations. On utilisera un modèle informatique pour mesurer le champ sonore d'un parc éolien ou d'une éolienne afin de s'assurer qu'il ou elle ne dépassera pas ce seuil.

Aucune éolienne ne devrait être construite à moins de 10 km d'un réseau de surveillance sismoacoustique; cependant, une plus courte distance serait acceptable pour une station de surveillance sismique isolée. Ces mesures devront être réexaminées et ces restrictions seront allégées si l'on élabore de nouvelles conceptions d'éoliennes qui émettent moins de bruit dans l'air et au sol.

2. Coordination de l'information

Le tableau suivant dresse la liste des contacts à l'intérieur des différentes organisations qui coordonnent les évaluations des effets possibles des éoliennes sur les systèmes de radiocommunication, radar et sismoacoustiques

Tableau 1 – Liste de coordination des contacts

Systèmes	Contact
Conseil consultatif canadien de la radio	CCCR Site Web : http://www.rabc.ottawa.on.ca/f/index.cfm Courriel : r.a.b.c@on.aibn.com Téléphone: 1-888-902-5768 ou 613-230-3261 Télécopieur : 613 230-3262
Association canadienne de l'industrie éolienne	CanWEA Site Web : http://www.canwea.ca/french/index_fr.cfm Courriel : info@canwea.ca Téléphone: 1-800-922-6932 ou 613-234-8716 Télécopieur : 613-234-5642
Usagers en radiocommunication	Industrie Canada Site Web : http://spectrum.ic.gc.ca/tafl/tafindxf.html Courriel : Téléphone: Télécopieur : NOTE : Le site Web d'industrie Canada ci-haut ne donne pas d'information sur les usagers en radiocommunication du MDN ni de la GRC. Prière de contacter : Le ministère de la Défense nationale Site Web : http://www.airforce.forces.gc.ca/8wing/squadron/atess_turbines_f.asp Courriel : mario.lavoie2@forces.gc.ca Téléphone : 613-992-3479 Télécopieur : 613-991-3961 et La Gendarmerie royale du Canada Mme. Francine Boucher Directrice, Gestion du spectre des radiofréquences Courriel : Francine.boucher@rcmp-grc.gc.ca Téléphone : 613-998-7338 Télécopieur : 613-998-7528
Radars météo	Environnement Canada Site Web : http://www.weatheroffice.gc.ca/radar/index_f.html Courriel : weatherradars@ec.gc.ca Téléphone : Télécopieur :
Radars ATC civils	Nav Canada Site web : http://navcanada.ca/NavCanada.asp Courriel : FerrisD@navcanada.ca Téléphone : 613-248-7554 Télécopieur : 613-248-XXXX

Radars militaires de défense aérienne et ATC	Ministère de la Défense nationale Site Web : http://www.airforce.forces.gc.ca/8wing/squadron/atess_f.asp Courriel : windturbines@forces.gc.ca Téléphone : 613-392-2811 Ext. 7042 Télécopieur : 613-965-3132
Radars du système de gestion du trafic maritime	Garde côtière canadienne Site Web : à déterminer Courriel : mojicaif@dfo-mpo.gc.ca Téléphone : 613 998-1403 Télécopieur : 613 993-3519
Réseaux de surveillance sismologique	Ressources naturelles Canada Site Web : http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/index_f.php Courriel : cormack@seismo.nrcan.gc.ca jlyons@nrcan.gc.ca Téléphone : 613 992-8766 613 995-5526 Télécopieur : 613 992-8836 613 992-6931

Les tableaux suivants indiquent l'étendue générale des zones autour de certaines installations pour lesquelles il faudra qu'il y ait consultation entre un promoteur éventuel et le service compétent. Ils comprennent aussi des exemples sur la manière dont ces zones touchées peuvent être déterminées. Toutes les techniques d'atténuation envisagées doivent faire l'objet de discussion entre les parties concernées.

Tableau 2 – Lignes directrices pour déterminer les zones touchées

Ce tableau donne l'étendue générale des zones (les « zones de consultation ») autour d'installations spécifiques pour lesquelles il faudra qu'il y ait consultation entre un promoteur éventuel et le service compétent (voir Tableau 1 ci-haut pour contacter un service). La section 3 donne des exemples sur les moyens de déterminer ces zones de consultation. Toutes les techniques d'atténuation envisagées doivent faire l'objet de discussion entre les parties concernées.

Systèmes	Directives générales
<p>Systèmes point à point : Liaisons micro-ondes Liaisons émetteur-émetteur Liaisons studio-émetteur Liaisons réseau-émetteur</p> <p>Un exemple type de zone de consultation dans un système point à point est donné dans la section 3.1.</p>	<p>1) Pour des raisons de proximité, les éoliennes doivent être situées à au moins 1,0 km des sites d'émission et de réception, et</p> <p>2) En dehors de cette zone de 1,0 km, il faut dégager un cylindre de diamètre « L_c »², entre les sites d'émission et de réception, où :</p> $L_{c(m)} = 52 \left(\frac{D_{(km)}}{F_{(GHz)}} \right)^{\frac{1}{2}} + 2B$ <p>L_c = diamètre du cylindre en mètres D = longueur du parcours entre les points d'émission et de réception en kilomètres F = fréquence en GHz B = longueur d'une pale d'éolienne en mètres</p>
<p>Réception hertzienne (réception par antenne et récepteur de radiodiffusion)</p> <p>Systèmes de réception collective MATV Câblodistribution (CATV) têtes de lignes Systèmes SMDM Télévision VHF Télévision UHF TVN</p> <p>Des exemples de zones de consultation sont donnés dans la section 3.2</p>	<p>FM: Pour des raisons de proximité, les éoliennes doivent être situées à au moins 2,0 km de l'émetteur FM</p> <p>TV: Il faut examiner deux conditions :</p> <p>1) Pour des raisons de proximité, les éoliennes devraient être situées à au moins 2,0 km de tout émetteur de télévision, et</p> <p>2) Aucun récepteur ne doit se trouver à l'intérieur de la zone de consultation « R »³ définie comme suit :</p> $R = 0.051 * B * \sqrt{T}$ <p>R = rayon de la zone à étudier en kilomètres à partir du centre géographique du parc éolien envisagé B = longueur d'une pale d'éolienne en mètres T = nombre d'éoliennes dans le parc</p>
<p>Réseau de type cellulaire :</p>	<p>1) Pour des raisons de proximité, la zone de consultation autour de la station de base devrait être d'au moins 1,0 km de diamètre.</p> <p>2) Les opérateurs de réseaux mobiles sont intéressés à procéder à de plus amples études et à effectuer plus d'essais avec les installations éoliennes à proximité des stations de base, puisque chaque site a une PIRE et un réglage d'antenne différents. Les opérateurs de réseaux mobiles ont demandé à ce que l'industrie collabore avec les opérateurs sur place dans le cas où une éolienne serait installée à proximité d'une station de base pour que l'on puisse procéder à une nouvelle évaluation.</p>

² Fixed-Link Wind-Turbine Exclusion Zone Method, D. F. Bacon et basé sur une distance égale à 3x la distance de dégagement maximale de la première zone Fresnel

³ Electromagnetic Interference from Wind Turbines, Sengupta & Senior, 1994, Équation 9.31 utilisant les valeurs normatives suivantes : $m_r=0.15$, $\eta_s=0.5$, $F_e=2.2$, $F_a=1$, $N=5$, $\Phi=0$ deg., $E_{ps,d}=E_{r,d}$ et supposant une obstruction de 10 dB dans le parcours principal du signal and assuming a 10 db main path obstruction

<p align="center"><u>Systèmes satellites</u></p> <p>Systèmes de réception de diffusion directe (DTH) Stations satellites terrestres</p> <p>Un exemple type de zone de consultation dans un système de stations satellites terrestres est donné dans la section 3.3</p>	<p>1) Pour des raisons de proximité, le rayon de la zone de consultation autour de la zone d'émission/réception satellite doit être d'au moins 1,0 km.</p> <p>2) Au delà de ce 1,0 km, la zone de consultation devrait aussi comprendre un cône de largeur « L_c »⁴ où « L_c » est défini comme suit :</p> $L_{c(m)} = 104 \left(\frac{D_{(km)}}{F_{(GHz)}} \right)^{1/2} + 2B$ <p>L_c = largeur du cône en mètres D = distance de l'antenne satellite terrestre en kilomètres (distance max = 10 km) F = fréquence en GHz B = longueur d'une pale d'éolienne en mètres</p>
<p align="center"><u>Réseaux mobiles terrestres</u></p>	<p>1) Pour des raisons de proximité, le rayon de la zone de consultation autour d'une tour radio mobile terrestre doit être d'au moins 1,0 km .</p> <p>Les opérateurs de réseaux mobiles terrestres comme les opérateurs de réseaux cellulaires de sécurité publique sont intéressés à procéder à de plus amples études et à effectuer plus d'essais avec les installations éoliennes à proximité des tours radio mobiles terrestres, puisque chaque site a une PIRE et un réglage d'antenne différent. Les opérateurs de réseaux mobiles ont demandé à ce que l'industrie collabore avec les opérateurs sur place dans le cas où une éolienne serait installée à proximité d'une tour de communications pour que l'on puisse procéder à une nouvelle évaluation.</p>
<p align="center"><u>Matériel de surveillance sismoacoustique</u></p>	<p>1) Le rayon de la zone de consultation autour d'un réseau de surveillance du ministère des Ressources naturelles du Canada devrait être d'au moins 50 km et d'au moins 10 km autour d'une station de surveillance isolée</p> <p>2) Le rayon de la zone de consultation autour d'un réseau de surveillance sismoacoustique devrait être d'au moins 10 km</p> <p>Pour de plus amples renseignements sur l'emplacement des installations de surveillance sismoacoustique du ministère des Ressources naturelles, prière de vous reporter aux cartes fournies sur le site Web au : http://seismescanada.rncan.gc.ca/stnsdata/cnsn/stn_book/?tpl_sorting=map</p>
<p align="center"><u>Radars de la Défense aérienne, Radars du trafic maritime et Radars de contrôle de la circulation aérienne</u></p>	<p>1) Le rayon de la zone de consultation autour d'un radar de la Défense aérienne du MDN devrait être d'au moins 100 km</p> <p>2) Le rayon de la zone de consultation autour d'un radar de contrôle de la circulation aérienne du MDN ou de Nav Canada devrait être d'au moins 60 km</p> <p>3) Le rayon de la zone de consultation autour de tout système de radar du trafic maritime de la Garde côtière canadienne devrait être d'au moins 60 km</p> <p>4) Le rayon de la zone de consultation autour d'un aéroport civil ou militaire important devrait être d'au moins 10 km</p> <p>Pour de plus amples renseignements sur l'emplacement des radars de la Garde côtière, de Nav Canada ou du ministère de la Défense nationale, prière de vous reporter aux cartes fournies sur le site Web de ces organismes aux http://www.airforce.forces.gc.ca/8wing/squadron/atess_f.asp www.navcanada.ca - Opérations de vol, Programmes ANS, Propositions pour l'utilisation des terres- procédures, contacts régionaux</p>
<p align="center"><u>Radars météorologiques</u></p>	<p>1) Le rayon de la zone de consultation autour d'un radar météorologique du ministère de l'Environnement du Canada devrait être d'au moins 80 km</p> <p>Pour de plus amples renseignements sur le réseau de radars d'Environnement Canada et l'emplacement des radars isolés, prière de vous reporter au site sur les radars météorologiques d'Environnement Canada au http://weatheroffice.ec.gc.ca/radar/index_f.html</p> <p>Si vous avez besoin de plus amples informations, ou si vous avez des questions, prière de contacter weatherradars@ec.gc.ca</p>

⁴ Electromagnetic Interference from Wind Turbines, Sengupta & Senior, p. 482

3. Calcul de la zone de consultation

3.1 Liaisons de radiocommunication point à point

Ces liaisons sont définies comme toute émission de radiocommunication point à point destinée principalement à retransmettre le signal reçu dans des formes ou des types de modulation divers. Cela comprend des liaisons comme les liaisons studio-émetteur, émetteur-émetteur et réseau-émetteur.

Les zones de consultations liées à ces systèmes sont fondées sur le dégagement de la zone Fresnel du parcours et peuvent être déterminées à partir des deux conditions suivantes et qui sont énoncées dans le tableau 2 :

- Un rayon de 1,0 km autour des antennes d'émission et de réception, de plus
- Un cylindre qui rejoint les limites extérieures des deux zones de 1,0 km autour de l'émetteur et du récepteur et défini comme suit :

$$L_{c(m)} = 52 \left(\frac{D_{0(km)}}{F_{0(GHz)}} \right)^{\frac{1}{2}} + 2B$$

Exemple:

Pour un lien micro-ondes point à point de 25 km à une fréquence de 7,0 GHz, les zones de consultation, en supposant que les éoliennes du secteur ont des pales d'une longueur de 40 m, représentent :

- 1.0 km autour de l'émetteur et du récepteur, de plus

$$b) L_{c(m)} = 52 \left(\frac{25}{7} \right)^{\frac{1}{2}} + 2(40)$$

$$L_c = 178 \text{ m}$$

S'il y a des éoliennes à l'intérieur de ces limites, il est alors recommandé qu'un ingénieur en radiocommunication qualifié entreprenne une analyse d'impact détaillée.

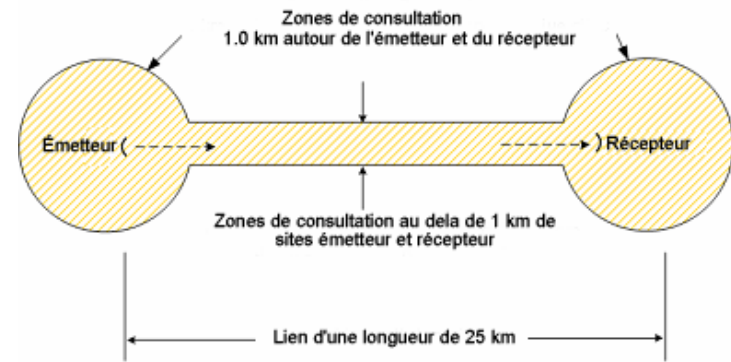


Fig 2.1 – Zone de consultation pour liaisons de radiocommunication point à point

3.2 Récepteurs de radiodiffusion près des éoliennes

Récepteurs de télévision analogique et numérique y compris les récepteurs domestiques

Définition d'un parc éolien

Pour les besoins de ce document, un parc éolien est défini comme un groupe d'éoliennes à l'intérieur duquel aucune éolienne n'est à plus de 3 km d'une autre. Si les groupes d'éoliennes sont séparés par plus de 3 km, ils sont considérés comme deux parcs distincts du point de vue de l'impact sur la radiodiffusion.

Détermination de la zone de consultation dans le pire des cas

On peut déterminer le rayon de la zone de consultation à l'aide de l'équation ci-dessous. S'il n'y a pas de récepteur de télévision analogique ou numérique à l'intérieur de la zone de consultation (y compris les récepteurs domestiques à l'intérieur des zones de rayonnement officielles des stations de radiodiffusion impliquées), alors il ne sera pas nécessaire de procéder à des analyses plus poussées.

$$R = 0.051 * B * \sqrt{T}$$

Où :

R = le rayon, en kilomètres, de la zone de consultation à partir du centre géographique du parc éolien

B = la longueur, en mètres, d'une **seule** pale d'éolienne

T = le nombre d'éoliennes dans le parc

Exemples:

Exemple 1

Prenons 50 éoliennes dans un seul parc (aucune à moins de 3 km d'une autre), chaque éolienne ayant des pales de 30 m, la zone de consultation aura, alors, un rayon de :

$$R = 0.051 * 30 * \sqrt{50}$$

R = 11,0 km mesurés à partir du centre géographique du parc



Figure 3.1. Zone de consultation pour un parc de 50 éoliennes

Exemple 2

Prenons 50 éoliennes dans un parc chacune ayant des pales de 30 m, 25 éoliennes étant regroupées sur une colline et les 25 autres sur une colline différente à 3 km de là; il faudra alors les considérer comme deux parcs distincts et la zone de consultation sera définie comme suit :

$$R = 0.051 * 30 * \sqrt{25} \quad (\text{pour le parc 1}) \text{ et}$$

$$R = 0.051 * 30 * \sqrt{25} \quad (\text{pour le parc 2})$$

R = 7,8 km mesurés à partir du centre géographique de chacun des deux parcs

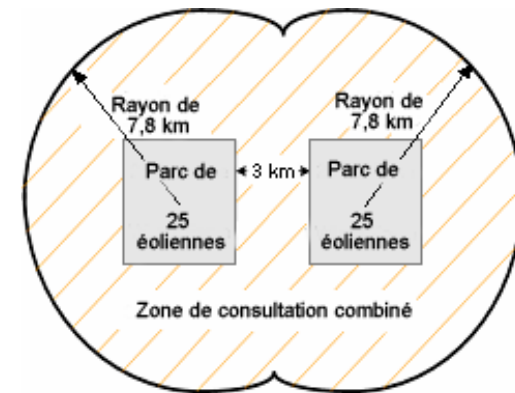


Figure 3.2. Zone de consultation de deux parcs éoliens de 25 turbines adjacents

S'il y a des récepteurs de télévision analogiques ou numériques à l'intérieur de la zone de consultation (y compris les récepteurs domestiques à l'intérieur des zones de rayonnement officielles des stations de radiodiffusion impliquées, il est alors recommandé qu'un ingénieur en radiocommunication qualifié entreprenne une analyse d'impact détaillée.

3.3 Stations satellites terrestres

Stations satellites terrestres y compris les récepteurs de diffusion directe (DTH)

Les stations satellites terrestres sont des stations où les radiodiffuseurs reçoivent des signaux RF de satellites en orbite géostationnaire ou envoient des signaux RF à ces mêmes satellites. Les zones de consultation autour de ces systèmes qui sont définies dans le Tableau 2 sont :

- a) un rayon de 1,0 km autour des antennes d'émission et de réception, et
- b) un cône de largeur L_c défini comme suit:

$$L_{c(m)} = 104 \left(\frac{D_{(km)}}{F_{(GHz)}} \right)^{1/2} + 2B$$

Exemple:

Pour une station satellite terrestre fonctionnant à 4,0 GHz, la zone de consultation, en supposant que les éoliennes des pales sont d'une longueur de 40 m, serait :

- a) un rayon de 1,0 km autour de la station satellite terrestre, et
- b) une zone conique qui part à 1,0 km de la station satellite terrestre et qui s'étend sur 10 km définie comme :

$$L_{c(m)} = 104 \left(\frac{10}{4} \right)^{1/2} + 2(40)$$

à 10 km de la station satellite terrestre, la zone de consultation serait :

$$L_c = 244m$$

S'il ya des éoliennes à l'intérieur de ces périmètres il est alors recommandé qu'un ingénieur en radiocommunication qualifié entreprenne une analyse d'impact détaillée.

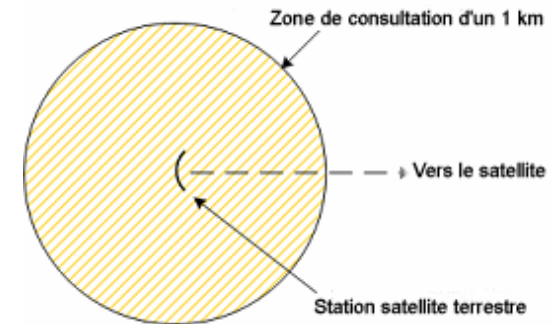


Fig 4.1 Zone de consultation de 1.0 km autour de la station satellite terrestre

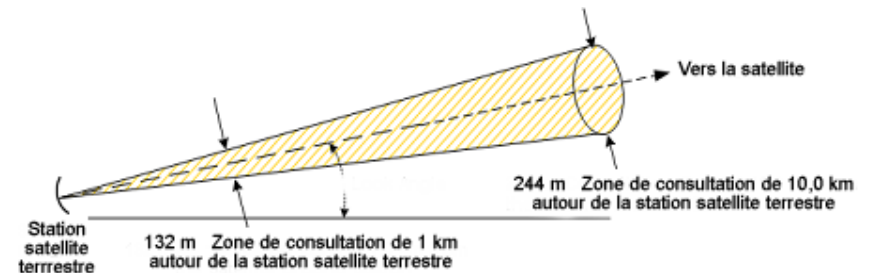


Fig 4.2 zone de consultation pour une station satellite terrestre de 1 à 10 km

Glossaire des termes

D = diamètre du cercle circonscrit par les pales de l'éolienne (deux fois la longueur d'une pale).

D/U = le rapport du signal utile (**D**esired) au signal brouilleur (**U**ndesired).

E_{PS,D} = amplitude moyenne du signal direct incident sur chacune des éoliennes d'un parc.

E_{R,D} = amplitude du champ direct au récepteur. Lorsque les récepteurs sont éloignés de l'émetteur : $E_{PS,D} = E_{R,D}$.

F_{A,W} = facteur d'antenne dans la direction de l'éolienne. Définit le gain d'antenne dans la direction de l'éolienne.

F_E = Facteur empirique de dépassement. Fondé sur une probabilité de 1 % que le rapport de dispersion observé sera plus élevé que le rapport de dispersion théorique.

M = nombre d'éoliennes dans le parc.

m_R = index de perception des modulations : seuil établi par le Dr. Sengupta à partir duquel le signal dispersé devient visible dans l'image.

N = Nombre d'éoliennes dans un groupe fonctionnant de manière synchrone en tout temps.

η_s = efficacité des éoliennes pour la dispersion du signal. Le rapport entre les niveaux du signal réfléchi par rapport au signal incident.

Radiocommunication = la transmission, l'émission ou la réception de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de données de toute nature au moyen de fréquences ou d'ondes électromagnétiques inférieures à 3,000 GHz et propagées dans l'espace sans guide artificiel.

Station satellite terrestre = une antenne parabolique terrestre fixe qui reçoit des signaux d'un satellite de communications ou qui lui en envoie.

Φ = angle entre le signal direct et le signal dispersé.

ζ = distance en mètres entre le centre géographique du parc éolien et la limite de la zone possible de dégradation du signal.

Glossaire des sigles

DA	Défense aérienne
ATC	contrôle de la circulation aérienne
ESTTMA	Escadron de soutien technique des télécommunications et des moyens aérospatiaux
BWEA	British Wind Energy Association
CanWEA	Association canadienne de l'énergie éolienne
CATV	câblodistribution
MDN	ministère de la Défense nationale
DTH	diffusion directe, (service de télévision payante par satellite)
TVN	télévision numérique (qui utilise les standards ATSC canadiens)
PIRE	puissance isotrope rayonnée équivalente
EM	électromagnétique
MATV	télévision par antenne collective, (site de captage par voie hertzienne pour la transmission de chaînes de télévision et de radio dans un immeuble d'habitation ou dans un groupe d'immeubles d'habitation)
SMDM	système multivoie de distribution multipoint, (un système de télévision par câble sans fil qui utilise les fréquences micro-ondes pour transmettre les signaux TV aux abonnés)
NTL	liaison réseau-émetteur
POC	point de contact
RADAR	détection et télémétrie par radioélectricité (Radio Detection and Ranging)
RCF	section efficace du diagramme de gain radar
STL	liaison studio-émetteur
TTL	liaison émetteur-émetteur (le lien sans fil entre deux émetteurs où un des émetteurs reçoit son signal d'entrée de l'autre par voie hertzienne)
Télévision UHF	télévision à ultra haute fréquence : regroupement de chaînes de télévision, numérotées de 14 à 69, dans une bande de transmission allant de 470 MHz à 806 MHz
Télévision VHF	télévision à très haute fréquence : regroupement de chaînes de télévision, numérotées de 2 à 13, dans une bande de transmission allant de 50 MHz à 220 MHz

Références

- 1) RPR Partie 4, *Règles et procédures de demande relatives aux entreprises de radiodiffusion de télévision*, Industrie Canada, 1997.
- 2) *Electromagnetic Interference from Wind Turbines*, Sengupta & Senior, 1994.
- 3) *Fixed-Link Wind-Turbine Exclusion Zone Method*, D. F. Bacon, octobre 2002.
- 4) TB-5, *Rapport sur la prévision du brouillage par fantômes et la qualité d'image en télévision*, Industrie Canada, juillet 1989 2^e édition.
- 5) *The Impact of Large Buildings and Structures (including Wind Farms) on Terrestrial Television Reception*, BBC / RA / ITC
- 6) LEUVEN, K.U., *Computations of the effects of wind turbines on RF systems – Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique*, division ESAT-TELEMIC, Belgique, septembre 2002.
- 7) *UK Wind Energy and Aviation Interests: Interim Guidelines*, ETSU W/14/00626/REP, UK Wind Energy, Defence and Civil Aviation Interests Working Group, octobre 2002.
- 8) *Wind Turbines and Aviation Interests: European Experience and Practice*, ETSU W/14/00624/REP, 2002.
- 9) BUTLER, M.M., D.A. JOHNSON, *Feasibility of mitigating the effects of wind farms on Primary Radar*, ETSU W/14/00623/REP, Alenia Marconi Systems Limited, 2003.
- 10) *Unclassified Trial Report: The effects of wind turbine farms on Air Defence Radars*, UK Ministry of Defence, AWC/WAD/72/652/Trials, janvier 2005.
- 11) *Unclassified Trial Report: The effects of wind turbine farms on Air Traffic Control Radars*, UK Ministry of Defence, AWC/WAD/72/665/Trials, mai 2005.
- 12) *Unclassified Trial Report: Further Evidence of the effects of wind turbine farms on Air Defence Radars*, UK Ministry of Defence, août 2005.
- 13) MARKUS, Peter J., *Investigating the possible impacts of the Fire Island Wind Turbine Project on the Anchorage Air Traffic Control Radars*, FAA/ANM-47, P.E., juillet 2005
- 14) *Cohabitation des fermes d'éoliennes et des radars météo*, France météo, 31 Mars 2005

- 15) P. STYLES, I. STIMPSON, S. TOON, R. ENGLAND, and M. WRIGHT, *Microseismic and Infrasound Monitoring of Low Frequency Noise and Vibrations From Wind Farms: Recommendations on the Siting of Wind Farms in the Vicinity of Eskdalemuir, Scotland*, School of Physical and Geographical Sciences, Keele University, 18 juillet 2005
- 16) *MOD lifts objections to wind energy projects: Industry and Government overcome key barrier to development*, British Wind Energy Association Press Release, 18 juillet 2005
- 17) Dr S SKONE, L de GROOT, *Impact of a wind turbine installation close to DGPS Station Hartlen Point (DGPS accuracy impact*, Département d'ingenierie géomatique, Université de Calgary, 18 Février 2005