



Bureau de l'efficacité et de l'innovation
énergétiques

PETITE ÉOLIENNE DE PUISSANCE INFÉRIEURE À 100 kW

FICHE DÉTAILLÉE

Cette fiche détaillée fait partie d'une série de 16 fiches présentant des mesures et pratiques en efficacité énergétique applicables au secteur agricole.

Le contenu de cette fiche détaillée est tiré intégralement du document intitulé *Étude de faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une ferme modèle écoénergétique au Saguenay–Lac-Saint-Jean, Rapport final*. Cette étude résulte d'un projet réalisé par le Collège d'Alma.

ANALYSE ET RÉDACTION

Sylvain Pigeon, ing., M. Sc., BPR Infrastructure inc.
Charles Fortier, ing., agr., BPR Infrastructure inc.
François Coderre, ing. jr., BPR Infrastructure inc.
Jean-Yves Drolet, agr., M. Sc., BPR Infrastructure inc.

COLLABORATEURS

Diane Gilbert, agroéconomiste, Groupe Ageco
Simon Dostie, analyste, Groupe Ageco
David Crowley, ing., Agrinova, centre collégial de transfert technologique (CCTT) du Collège d'Alma

COMITÉ DE SUIVI

Agrinova, CCTT du Collège d'Alma
Direction générale du Collège d'Alma
Ferme Métro
Ferme Gagné
Agence de l'efficacité énergétique

Cette étude a été réalisée en 2009 et 2010 grâce au soutien financier de l'Agence de l'efficacité énergétique, de la Conférence régionale des élus du Saguenay–Lac-Saint-Jean, de la Ville d'Alma, du Collège d'Alma et de la Coop fédérée.

Au moment de sa rédaction, le contenu de l'étude reflétait au mieux les connaissances des différents rédacteurs et collaborateurs. Certaines conditions peuvent avoir évolué et ne plus correspondre à la situation actuelle. La mise en application des mesures et pratiques énoncées et la rentabilité qui en résultera demeurent sous l'entière responsabilité du lecteur.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES

Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques
5700, 4^e avenue Ouest, B 406
Québec (Québec) G1H 6R1

Téléphone : 418 627-6379 ou 1 877 727-6655
Télécopieur : 418 643-5828
Site Internet : <http://www.efficaciteenergetique.mrn.gouv.qc.ca/>
Courriel : efficaciteenergetique@mrn.gouv.qc.ca

Photos : Éric Labonté et Marc Lajoie, MAPAQ

Décembre 2012
© Gouvernement du Québec

1 DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE

Une éolienne, par définition, est un système mécanique permettant de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ou électrique (OQLF, 2009). Les principales composantes d'une éolienne typique au Canada sont (ACÉE, 2008a) :

- 1) Pale
- 2) Rotor
- 3) Cylindre de fonctionnement
- 4) Arbre principal
- 5) Boîte de vitesses
- 6) Génératrice
- 7) Transformateur

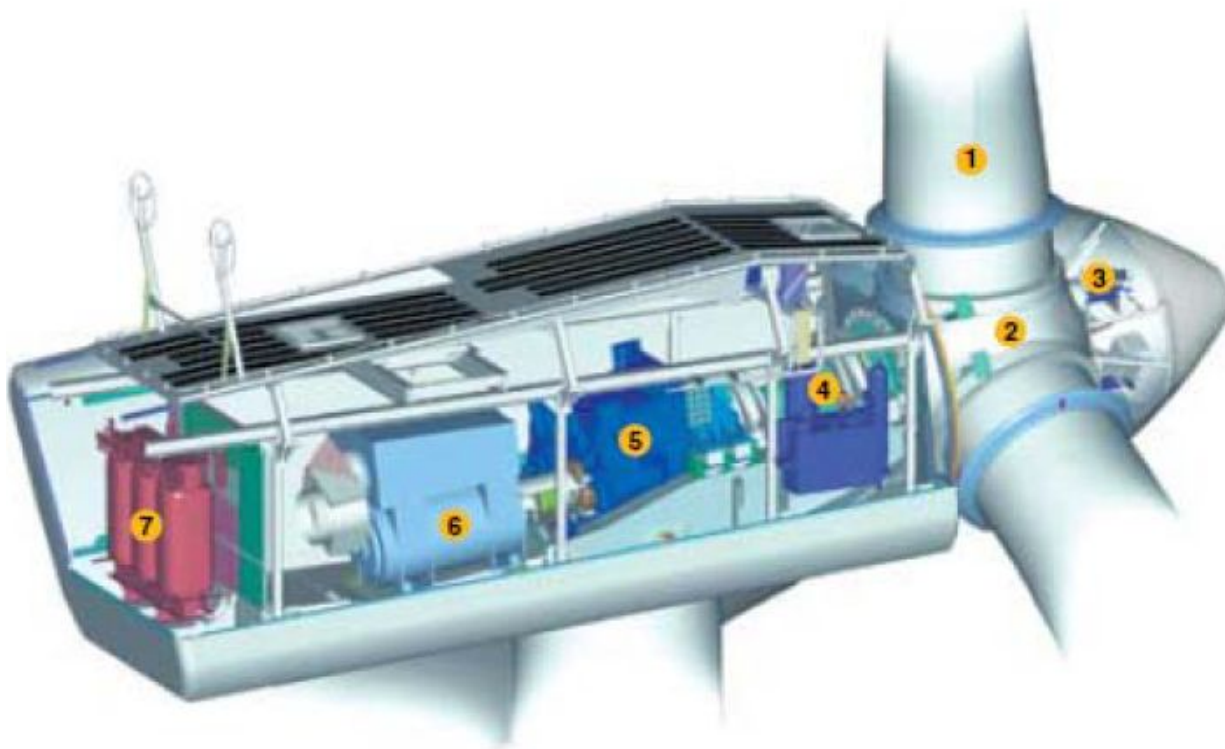


Figure 4-23
Éolienne typique au Canada (ACÉE, 2008a)

Une petite éolienne est communément définie comme étant une turbine sur tour avec rotor ayant une puissance nominale égale ou inférieure à 100 kW. En dessous de 1 kW, il est question de micro-éoliennes (ACÉE, 2008b ; AWEA, 2007 ; Sgrillo, 2007).

La plupart des petites éoliennes nécessitent au minimum une vitesse de vent de 4 m/s pour être en fonction. Généralement, une vitesse minimale de 5 m/s est requise pour les éoliennes reliées à des réseaux de distribution électrique. À titre indicatif, une vitesse annuelle moyenne de vent de 6 m/s est considérée comme une source énergétique «modérée» (ACÉE, 2008b).

Tout en tenant compte de la hauteur des obstacles au sol (arbres, bâtiments) et de leur rugosité, qui crée un ralentissement par friction, la vitesse du vent tend à augmenter de façon logarithmique en fonction de l'altitude (MRNF, 2005a). En théorie donc, pour une même situation climatique, plus l'éolienne est élevée et plus la couverture du sol est uniforme, plus le potentiel énergétique exploitable est grand. Par conséquent, le lieu idéal pour l'exploitation de l'énergie éolienne est le sommet d'une colline dégagée de toute source d'obstruction comme des arbres et des maisons sur quelques centaines de mètres.

2 DOMAINE D'APPLICATION

Plusieurs secteurs économiques, dont l'agriculture, peuvent tirer profit de la ressource éolienne, principalement en raison de la forte demande énergétique liée à leurs activités. En général, trois voies s'offrent aux producteurs agricoles (UCS, 2003). La première consiste à louer une parcelle de terre à des développeurs éoliens, ce qui permet d'obtenir des redevances annuelles stables négociées préalablement. La deuxième option est de produire soi-même l'énergie en étant propriétaire d'éoliennes. Cela engage un plus grand investissement initial, mais les profits générés peuvent être potentiellement plus élevés. Toutefois, ces deux voies relèvent plutôt de la propriété foncière que de l'activité agricole. Elles seront donc exclues de la présente étude de faisabilité bien qu'elles puissent représenter une avenue intéressante pour les entreprises agricoles, ces dernières étant généralement d'importants propriétaires fonciers.

L'option qui sera considérée est celle de la production énergétique éolienne pour des fins d'utilisation à la ferme, hors réseau. À ce titre, l'énergie éolienne pourrait se substituer à l'énergie électrique actuellement consommée à partir du réseau par les différents types d'équipement de la ferme (ventilateurs, soigneurs, nettoyeurs, système de traite et de réfrigération, éclairage, etc.). De plus, pour certains secteurs d'élevage, notamment les productions bovine et ovine, les animaux sont régulièrement mis au pâturage durant la saison de végétation ou en enclos d'hivernage. Dans certains cas, ces pâturages peuvent être relativement éloignés des services d'eau et d'électricité rendant ainsi plus difficile l'installation d'eau courante pour l'abreuvement du bétail et l'électrification des clôtures. Le recours à l'énergie éolienne pourrait alors y être envisagé.

3 POTENTIEL D'ÉCONOMIE ET/OU DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

Le Québec possède un fort potentiel éolien exploitable dont la puissance est évaluée à environ 4 000 000 MW et sa production, à 12 400 TWh (MRNF, 2005a). À titre indicatif, la puissance électrique totale installée au Québec serait de l'ordre 38 000 MW et la production, de 206 TWh (Hydro-Québec, 2008). La région du Saguenay–Lac-Saint-Jean présente des opportunités de développement importantes de cette source d'énergie avec un potentiel de 49 642 MW et 146 TWh (MRNF, 2005a). Cependant, étant donnée la capacité d'interconnexion limitée avec le réseau de distribution d'Hydro-Québec, la production additionnelle maximale admissible pour alimenter le réseau n'est actuellement que de 2 000 MW (MRNF, 2005b). L'évaluation du potentiel énergétique exploitable d'une région ou d'un territoire précis s'effectue grâce aux relevés éoliens. L'Atlas canadien d'énergie éolienne produit par Environnement Canada permet d'estimer sommairement la vitesse du vent selon les saisons à diverses altitudes (30, 50 et 80 m).

Avec ces données, il est possible de déterminer la production énergétique d'une éolienne en fonction de sa puissance nominale (kW) et de la vitesse de vent requise pour cette puissance nominale (m/s). Bien que la majorité des fabricants fassent référence à une vitesse de vent nominale autour de 12 m/s, aucune norme standard n'a été élaborée pour déterminer la puissance nominale. De façon générale, la puissance disponible dans le vent varie avec la superficie balayée par les pales de l'éolienne, donc avec le carré de leur diamètre, et avec le cube de la vitesse du vent. Ainsi, une éolienne dont le diamètre des pales est de 3 m aurait accès à 4 fois plus d'énergie qu'une éolienne de 1,5 m de diamètre. De la même façon, une éolienne fonctionnant avec un vent de 16 m/s aurait accès à huit fois plus d'énergie qu'avec un vent de 8 m/s.

Par ailleurs, une éolienne ne peut récupérer entièrement l'énergie contenue dans le vent, car l'écoulement ne peut avoir une vitesse nulle après son passage à travers la turbine. Le **coefficient de performance** (ou **coefficient de puissance**) indique alors la proportion de l'énergie que l'éolienne peut récupérer. En théorie, ce coefficient ne peut être supérieur à 59 % (DWIA, 2003). En considérant les pertes entraînées par la transformation de l'énergie éolienne en énergie mécanique d'abord puis en énergie électrique, la valeur maximale de ce coefficient est plutôt de l'ordre de 45 à 50 %.

De plus, le **facteur de capacité** indique la production réelle d'une éolienne sur un site donné en fonction de sa puissance nominale. Par exemple, si une éolienne d'une puissance nominale de 10 kW produit 25 MWh par année, son facteur de capacité sera de 28,5 % (soit $25\,000 / 10 * 24 * 365$). On peut interpréter cette donnée comme étant la proportion du temps durant lequel l'éolienne fonctionne à sa puissance nominale ou encore, le rapport entre la puissance électrique moyenne (calculée sur un an) produite par l'éolienne et sa puissance électrique maximale. Dans le cas présenté, l'éolienne fonctionnerait l'équivalent de 2 500 heures par année à sa puissance nominale. Bien que ce facteur puisse varier de 0 à 100 %, il se situe le plus souvent entre 25 % et 30 % (DWIA, 2003). Il est fonction de la conception même de l'éolienne mais surtout de la qualité du vent (vitesse et occurrence de chaque vitesse de vent).

Pour répondre à l'ensemble des besoins des exploitations agricoles, de même que pour les petites et moyennes entreprises et les collectivités, il est recommandé d'utiliser une éolienne ayant une capacité allant de 10 kW à 50 kW (Info Éolien, 2009). La production estimée pour des éoliennes d'une puissance nominale de 10, 20, 30 et 50 kW installées dans le secteur d'Alma est présentée au tableau 4-32. Pour des applications plus restreintes comme l'alimentation d'appareils installés dans des sites isolés, des éoliennes de plus petite puissance nominale sont également disponibles, soit de 300 W à 10 kW (CANWEA, 2010).

Le coût relié à l'installation d'une éolienne varie avec sa puissance nominale (de façon plus exacte, avec la superficie balayée par les pales) et les types d'équipement retenus (hauteur du mât, accumulateur, onduleur, etc.). Pour les plus petites éoliennes, le coût de l'installation est du même ordre ou plus élevé que le coût d'achat alors que pour les plus grandes, le coût d'achat est supérieur. Le tableau 4-33 donne à titre indicatif le coût type d'une éolienne. Sur la base de la puissance installée, le coût varie de 3 900 \$/kW à 7 600 \$/kW pour les plus petites éoliennes.

Quant au coût de production, il est influencé par plusieurs facteurs. Outre le coût des immobilisations et les frais d'entretien et d'opération (environ 2 % de la valeur des immobilisations), le coefficient de puissance est un élément important. Celui-ci dépend des caractéristiques du vent et de l'éolienne retenue pour un projet particulier. Par ailleurs, le coût de production diminue de façon générale avec l'augmentation de la puissance nominale de l'éolienne. À l'aide de l'outil élaboré par CANWEA (2010), on peut estimer le coût de production de l'électricité à plus de 0,80 \$/kWh pour une éolienne d'une puissance de 10 kW avec un coefficient de puissance de 13 % à moins de 0,17 \$/kWh pour une éolienne d'une puissance nominale de 50 kW avec un coefficient de puissance de 26 %.

Tableau 4-32

Vitesse moyenne du vent à une altitude de 30 m, production d'énergie et valeur de l'énergie par diverses éoliennes installées dans le secteur d'Alma (Environnement Canada, 2009)

Période	Vitesse moyenne du vent (m/s)	Production énergétique par éolienne			
		10 kW ¹	20 kW ¹	30 kW ¹	50 kW ¹
		(MWh)			
Hiver (DJF)	5,49	6,8	12,1	14,5	19,9
Printemps (MAM)	4,78	5,1	8,9	10,6	14,5
Été (JJA)	4,08	3,3	5,8	6,8	9,2
Automne (SON)	5,06	5,7	10,0	5,4	16,3
Année	4,78	20,4	35,8	42,5	58,1
Valeur de l'énergie produite (\$/an)²	n.a.	1 622	2 846	3 379	4 619

¹ Puissance nominale de chaque éolienne.

² En dollars courants de l'année 2009 avec des tarifs d'électricité évalués à 7,95 ¢/kWh (MRNF, 2008).

Tableau 4-33
Coût d'achat et d'installation d'éoliennes
de diverses puissances nominales (source : CANWEA, 2010)

	Puissance nominale			
	0,4 kW	1 kW	10 kW	50 kW
	(\$) ¹			
Achat	1 300	3 300	38 600	130 800
Installation	1 100	4 300	29 800	65 400
TOTAL	2 400	7 600	68 400	196 200
TOTAL (\$/kW)	6 000	7 600	6 840	3 924

¹ Données de 2003 majorées avec un taux d'inflation de 2,5 % par année.

4 DISPONIBILITÉ DE LA TECHNIQUE

Le tableau 4-34 présente les principaux détaillants et installateurs d'éoliennes de puissance nominale allant de 1 à 300 kW présents au Québec.

Tableau 4-34
Détaillants et installateurs d'éoliennes de puissance nominale allant de 1 à 300 kW

Entreprise	Modèles disponibles		Site internet
	1 à 30 kW	30 à 300 kW	
AeroJoule Montréal	X	X	www.aerojoule.com
ATI-éolien Rimouski (4 18) 732-2552	X	X	www.ati-eolien.com
Écosolaire International Inc. Montréal (5 14) 847-8368	X	X	www.ecosolaire-intl.qc.ca
Énergie Ressource Développement Mirabel 450-437-1515	X		www.erd.qc.ca/bienv.html
Énergie Ressource Technologies Québec 450-437-8700	X		www.ert.qc.ca/en.html
Héliotron Énergie Renouvelable Alma 4 18-668-3830	X		www.heliotron.ca/
Le Boisé Alternatives Gatineau 6 13-282-8658	X		www.leboise.com
Matrix Energy Kirkland 5 14-630-5630 866-630-5630 (sans frais)	X ¹		www.matrixenergy.ca
MS2 Contrôle Inc. Québec 4 18-266-1310	X ¹		www.ms2controle.net
Naviclub Ltee (Navitek) Levis	X		www.naviclub.com/energie.html
Rozon Batteries / Trans-Canada Saint-Luc	X		

¹ Éoliennes de 200 W à 3 kW pour la recharge de pile 12/24/48 V ou pour connexion au réseau 208 V ou 240 VAC.

5 ESTIMATION DE LA RENTABILITÉ

5.1 Sensibilité au coût de l'énergie (électricité et/ou hydrocarbure)

L'énergie éolienne étant appelée à remplacer de façon prioritaire l'énergie électrique, la sensibilité de la rentabilité est examinée au regard de ce type d'énergie. Pour la ferme laitière moyenne, il est estimé que la consommation électrique s'établit entre 55 000 et 60 000 kWh par année. Pour générer une telle quantité d'énergie dans la région d'Alma, une éolienne d'une puissance nominale de 50 kW est requise (tableau 4-32). Selon les données de CANWEA (2010), les immobilisations représenteraient un montant de 196 000 \$ et le coût de production serait de 0,33 \$/kWh. Ces données prennent en considération un amortissement des installations sur 25 ans et un coût du financement de 6 %. Par conséquent, ce coût est plus de quatre fois plus élevé que celui de l'électricité au Québec. Ainsi, même une augmentation très importante du coût de l'électricité ne pourrait justifier sur la seule base économique le remplacement du réseau public d'alimentation électrique par une éolienne.

5.2 Type d'élevage et taille de la ferme

Compte tenu du fait que le coût de l'énergie produite par une éolienne diminue avec la puissance, seules les fermes de très grande taille ou qui sont de très grandes consommatrices d'énergie électrique pourraient profiter d'une source telle que l'éolienne dans les conditions normales d'approvisionnement électrique au Québec.

Cette source énergétique pourrait par ailleurs convenir à des fermes isolées pour lesquelles l'alimentation électrique à partir du réseau représente des coûts très élevés (construction d'une ligne de distribution). Il est à noter que la production de 1 kWh d'énergie électrique à partir d'une génératrice actionnée par un moteur diesel requiert environ 0,24 litre de diesel. Par conséquent, le coût minimum de cette électricité est de l'ordre de 0,23 \$/kWh (prix du diesel : 0,95 \$/l). En pratique, en considérant les coûts d'immobilisation et d'entretien du moteur et de la génératrice, le coût est plutôt de l'ordre de 0,30 à 0,35 \$/kWh. Aussi, l'installation d'une éolienne pourrait être une solution appropriée si une génératrice devait alimenter une ferme isolée.

6 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les principaux avantages de l'utilisation de l'énergie éolienne sont les suivants :

- Possibilité d'alimenter en électricité des sites isolés;
- Est entièrement renouvelable;
- Devient de plus en plus économique à produire à mesure que des économies d'échelle sont réalisées et que le prix de l'électricité augmente;
- Est compatible avec d'autres utilisations des terres et peut servir de stimulus au développement de l'économie rurale;
- Crée des revenus supplémentaires pour les agriculteurs dont les terres sont louées;
- Compense pour les émissions de gaz à effet de serre d'autres sources d'énergie, ce qui réduit l'apport aux changements climatiques mondiaux.

En contrepartie, les inconvénients les plus couramment observés sont les suivants :

- Se rentabilise difficilement pour des installations de petite puissance (moins de 50 kW) là où le réseau est disponible;
- Pour les systèmes de plus grande puissance, l'énergie éolienne doit généralement être couplée à un autre système d'alimentation pour pallier les périodes de faibles vents;
- Pour les systèmes de plus petite puissance (de 400 W à 10 kW), requiert des accumulateurs pour assurer en tout temps l'alimentation en énergie électrique;
- L'installation d'éoliennes modifie le paysage naturel et génère du bruit;
- Représente un risque pour certaines espèces d'oiseaux lors de leur migration.

7 RECOMMANDATIONS

Compte tenu de la puissance et de la quantité d'énergie électrique requise par les fermes, le recours à l'énergie éolienne à des fins de production agricole devrait être limité :

- à des applications très spécifiques consommant peu d'énergie et pour lesquelles une alimentation à partir du réseau occasionnerait des coûts très élevés (pompage d'eau d'abreuvement ou d'irrigation, alimentation électrique pour des applications délocalisés) ;
- à des fermes qui ne seraient actuellement pas desservies par le réseau et qui utilisent des génératrices avec moteur à combustion pour assurer leur approvisionnement électrique.

8 RÉFÉRENCES

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 2007. *AWEA small wind turbine: global market study 2007*, American wind energy association, 14 p.

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE (ACÉE), 2008a. *La science de l'énergie éolienne : Un vent de changement*, Association canadienne de l'énergie éolienne, 2 p.

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE (ACÉE), 2008b. *L'énergie éolienne de petite puissance*, tiré du site de l'Association canadienne de l'énergie éolienne, [En ligne] [http://www.canwea.ca/wind-energy/smallwind_f.php].

CANADIAN AGRICULTURAL ENERGY END-USE DATA AND ANALYSIS CENTRE, 2000. *Descriptive analysis of on-farm energy use in Canada*, Canadian agricultural energy end-use data and analysis centre (final report), 33 p.

CANWEA. 2010. *Guide d'achat pour petites éoliennes*, Association canadienne de l'énergie éolienne. [En ligne] [<http://www.canwea.ca/images/uploads/File/SmallwindturbinesFR.pdf>] (Consulté le 13 janvier 2010).

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (CRAAQ), 2008a. *Audit énergétique sommaire en aviculture*, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 11 p.

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (CRAAQ), 2008b. *Audit énergétique sommaire en production laitière*, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 14 p.

DWIA. 2003. *Preuve de la loi de Betz*, Danish Wind Industry Association. [En ligne] [<http://guidedtour.windpower.org/fr/tour/wres/betz.htm>] mis à jour le 12 mai 2003.

ENVIRONNEMENT CANADA, 2009. *Atlas canadien d'énergie éolienne*, tiré du site Atlas canadien d'énergie éolienne, [En ligne]. [<http://www.windatlas.ca/fr/maps.php>].

HYDRO-QUÉBEC. 2008. *Rapport annuel 2008 – L'énergie de notre avenir*, 126 p. FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS DE LAIT DU QUÉBEC (FPLQ), 2006. *Estimation du cheptel*, tiré du site Internet de la Fédération des producteurs de lait du Québec, [En ligne] [<http://www.lait.org/zone3/index.asp>].

INFO ÉOLIEN, 2009. *Le guide de l'éolien et du petit éolien*, tiré du site Internet d'Info Éolien, [En ligne] [<http://www.info-eolien.com/eolienne-cout.html>].

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2005a. *Inventaire du potentiel éolien exploitable du Québec*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 60 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2005b. *Évaluation de la capacité d'intégration du réseau intégré d'Hydro-Québec au regard de l'ajout de parcs de production d'électricité à partir d'énergie éolienne*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 133 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2008. *Prix de l'énergie*, tiré du site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, [En ligne] [<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-prix.jsp>].

OQLF, 2009. *Définition d'éolienne*, tiré du site de l'Office québécois de la langue française (*Le Grand dictionnaire terminologique*), Office québécois de la langue française, [En ligne] [http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp].

RESSOURCES NATURELLES CANADA, 2009. *Sources d'énergie : Prix moyen du propane automobile au détail (les 52 dernières semaines)*, tiré du site Internet de Ressources naturelles Canada, [En ligne] [http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/pripri/prices_bycity_f.cfm?PriceYear=0&ProductID=6&LocationID=32,28,29,77,30&dummy=#PriceGraph]

SAGRILLO, M. ET WOOFENDEN, I., 2007. « Wind turbine buyer's guide ». *Home power* vol. 119, 7 p.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2003. *Farming the wind: wind power and agriculture (Fact sheet)*, Union of concerned scientists, Cambridge, 2 p.