

La Maîtrise de

l'énergie

Volume 23 — Numéro 3 — Septembre 2008

Dossier spécial Énergies émergentes

Le saule, une source d'énergie

La Maison ÉcoTerra :
l'intégration du solaire

Géothermie: identifier
les conditions gagnantes

Les nanomatériaux : une voix d'avenir
pour l'énergie solaire ?

Réflexions

sur l'exploitation massive du potentiel éolien québécois

À l'heure où l'accroissement des besoins énergétiques et le réchauffement climatique ne cessent d'aviver notre intérêt pour des sources d'énergie non polluantes, d'aucun se questionnent sur le potentiel éolien du Québec et son exploitation éventuelle. Or, le vent au Québec. Une inspection des cartes des vents permet d'estimer la puissance éolienne moyenne du Québec à plus de 2 000 GW, en prenant comme hypothèse qu'on installerait une éolienne de 3 MW pour chaque km² où un vent moyen supérieur à 7 m/s peut être mesuré. Rappelons que la puissance hydraulique produite au Québec est de l'ordre de 40 GW et que le plus grand contrat d'énergie éolienne jamais accordé au Canada est pour une puissance installée de 2 GW. C'est donc dire que nous disposons d'un potentiel éolien phénoménal. L'exploitation totale de ce potentiel pourrait générer des revenus annuels de l'ordre de 1 000 milliards de dollars, soit plus de 100 000 \$ par québécois.

Consommation d'électricité

Bien que ces chiffres frappent l'imaginaire, il ne faut pas perdre de vue que toute énergie produite doit également être consommée. La consommation électrique du Québec est de l'ordre de 40 GW. Pourrait-on exporter cette puissance renouvelable de 2 000 GW? Aux États-Unis, la consommation électrique totale est d'un peu plus de 700 GW en période de pointe. Il est probablement illusoire de penser que la totalité de la consommation électrique américaine pourrait provenir des lignes venteuses du Québec. En considérant que les distances entre la frontière et la plupart des États américains sont trop élevées et que les règles fondamentales de diversification des sources d'énergie sont un enjeu crucial aux États-Unis, nous sommes forcés de rejeter un tel scénario.

Une hypothèse réaliste verrait 10 % de la consommation des États de la Nouvelle-Angleterre provenir du Québec. Un tel scénario représenterait une exportation d'environ 10 GW d'électricité vers nos voisins du sud, soit 0,5 % du potentiel éolien mentionné plus haut.

Il est donc, pour le moment, difficile d'envisager que l'énorme potentiel éolien du Québec pourra être exploité de façon massive.

Fluctuation du vent

Outre la question du marché de l'électricité, il existe de nombreuses difficultés techniques à l'exploitation du potentiel éolien. En premier lieu, la question de la fluctuation des vents. Cette problématique est d'une importance capitale pour Hydro-Québec. Il ne faut pas perdre de vue la différence fondamentale entre l'eau et le vent: l'eau peut être stockée, le vent non. Hydro-Québec a réussi à pallier à cette difficulté en réservant une certaine partie de sa puissance hydraulique pour les périodes où le vent est faible, mais cette réserve coûte cher. Lors de la présentation par Hydro-Québec en mai dernier des sociétés retenues dans le cadre de l'appel d'offre pour l'installation de 2 GW de puissance éolienne, les montants attribués à la réserve de puissance ont également été dévoilés, soit 0,5 cent par kWh éolien produit. Plus important encore est le coût des lignes de transport permettant de connecter ces parcs éoliens au réseau électrique. Les lignes de transport sont conçues pour transporter la puissance maximale produite par un parc éolien. Or, la puissance éolienne moyenne est environ 3 fois plus faible que cette puissance maximale. Il faut donc beaucoup d'infrastructure, de lignes et de pylônes pour transporter peu d'énergie. Dans l'annonce de mai dernier, on y dévoilait des montants de 1,3 cent par kWh éolien affectés à l'installation de lignes de transport. Par conséquent, on passe d'un compétitif 8,7 cents/kWh offert par les promoteurs à un plus discutable 10,5 cents/kWh une fois les coûts de transport et de réserve comptabilisés.

Réduire les fluctuations de puissance

L'augmentation du taux de pénétration de l'énergie éolienne passe par la maîtrise de la fluctuation de la puissance produite. Quatre méthodes font actuellement partie des activités de recherche abordées par le LEEPCI (Laboratoire d'Électrotechnique, d'Électronique de Puissance et de Commande Industrielle) à l'Université Laval, visant à juguler la fluctuation de la puissance électrique dans les réseaux à forte pénétration éolienne:

- 1) La dispersion des parcs éoliens;
- 2) La modification aux éoliennes;
- 3) L'utilisation des batteries de véhicules hybrides branchables;
- 4) L'ajout de stockage inertiel dans le réseau.

Dispersion des parcs éoliens

La première méthode consiste à répartir les parcs éoliens sur le territoire considéré. Les vents sont rarement identiques d'un endroit à l'autre. Nous avons étudié l'effet de l'éloignement des parcs éoliens sur la fluctuation de la puissance éolienne produite, en utilisant les données recueillies par le ministère des Ressources naturelles sur huit sites répartis dans l'est du Québec pendant une année et avons obtenu les courbes de probabilité illustrées à la figure 1. On constate que la probabilité de vent faible sur un site donné est élevée. Cependant, la probabilité que tous les sites aient un vent faible simultanément est fortement réduite. Des figures 2 et 3, on tire la probabilité d'obtenir une puissance éolienne nulle en fonction de l'éloignement entre les sites éoliens (figure 2) et en fonction du nombre de parcs éoliens considérés (figure 3).

Ces résultats nous ont permis de conclure qu'il était possible de réduire substantiellement le surdimensionnement des lignes de transport, ainsi que la probabilité de transmettre une puissance totale nulle en localisant les parcs éoliens sur plus de trois sites séparés par quelques centaines de kilomètres, telle que l'illustre l'exemple de la figure 4 (p. 24).

Modifications des éoliennes pour le contexte québécois

Les éoliennes actuellement disponibles sur le marché ne sont pas forcément optimisées pour le contexte québécois, en particulier celui du Grand Nord. Ce contexte comporte deux éléments particuliers:

- Transport de la puissance électrique sur de longues distances;
- Vents moyens supérieurs à 9 m/s.

Les éoliennes destinées au marché européen ou américain seront installées à proximité des zones urbaines où les vents moyens sont plus faibles (e.g. 7 m/s) et où le bruit acoustique généré est un facteur important et doit être le plus faible possible. Ces éoliennes seront donc lentes (vitesses en bout de pale inférieures à 70 m/s) et seront limitées en puissance à partir de 11 ou 12 m/s afin d'extraire le maximum de l'énergie éolienne à ces vitesses de vents. Il en résulte une éolienne de faible vitesse de rotation et dont la conversion électromécanique (engrenage, alternateur, convertisseur électronique) est surdimensionnée. Ces éoliennes auront un rapport P_{nom}/A (Puissance nominale sur l'aire balayée par les pales) de 300 à 400 W/m² et une fluctuation importante de la puissance électrique générée. Sur un réseau court, où les investissements en infrastructure sont plus faibles, cette fluctuation a une incidence moindre. Par contre, pour de longues distances, la faible facteur d'utilisation augmentera le coût des infrastructures de transport par kWh généré.

En limitant la puissance des éoliennes à partir d'un vent de 9 m/s au lieu de 11 m/s, il serait possible de réduire considérablement la fluctuation de puissance sur les lignes, ainsi que la taille de la conversion électromécanique à l'intérieur de l'éolienne. De plus, en augmentant la longueur des pales de 40 %, on doublerait l'aire balayée par les pales et la puissance extraite par l'éolienne. Bien sûr, la vitesse en bout de pale augmenterait à 100 m/s, ce qui sera bruyant, mais probablement acceptable en territoire peu habité, comme c'est le cas au nord du 52^e parallèle. En procédant de cette manière, on compense l'augmentation du coût des pales par une diminution du coût de la conversion électromécanique. L'éolienne qui en résultera possèdera donc un coût de fabrication et une énergie annuelle captée qui seront, somme toute, équivalents à ce que l'on obtient avec les designs actuels. L'avantage est un facteur d'utilisation beaucoup plus élevé (FU = 0,75) et une fluctuation de puissance électrique beaucoup plus faible que pour les designs d'éoliennes actuellement disponibles sur le

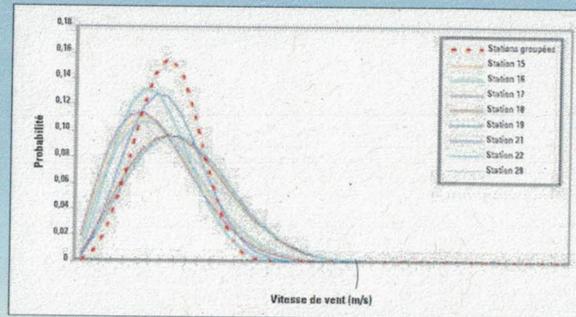


Figure 1
Probabilité d'obtenir une vitesse de vent donnée pour huit sites anémométriques isolés. La courbe en pointillé représente la courbe de probabilité obtenue en faisant la somme des vents sur les huit sites.

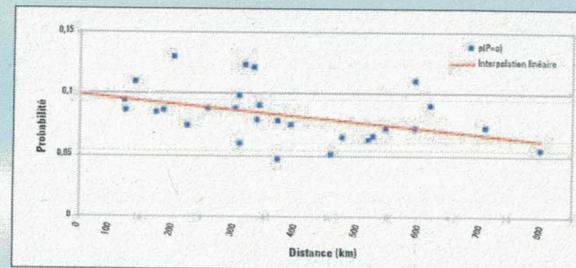


Figure 2
Probabilité d'une puissance nulle en fonction de la distance séparant un duo de stations.

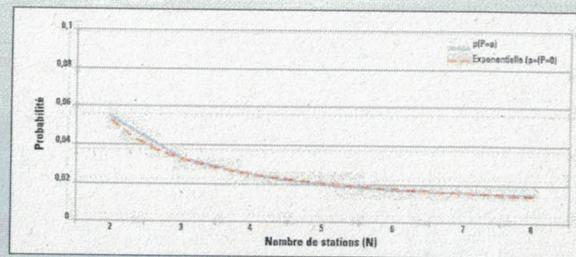


Figure 3
Probabilité de puissance nulle en fonction du nombre de stations.

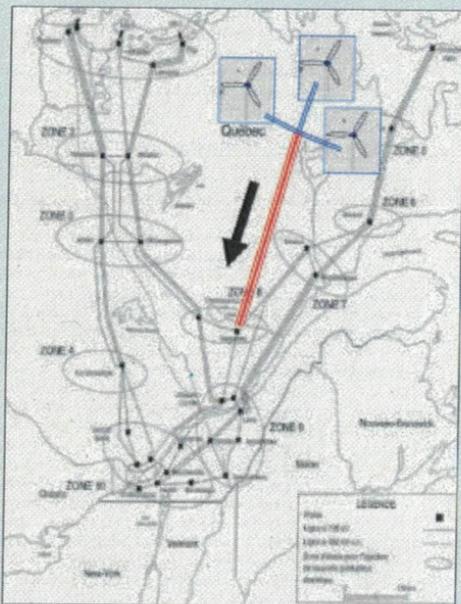


Figure 4 Répartition en étoile des sites éoliens.

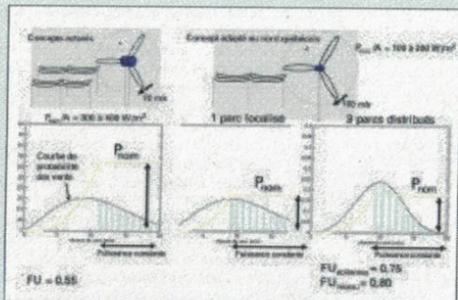


Figure 5 Adaptation des designs d'éoliennes pour des vitesses moyennes de vent de 9 m/s et des lignes de transport de 500 km. Gauche: designs actuels et limitation à $v = 11$ m/s. Centre: pales plus longues et limitation à $v = 9$ m/s pour 1 parc localisé. Droite: pales plus longues et limitation à $v = 9$ m/s pour 3 parcs répartis.

marché. Pour une ligne de 500 km de longueur, des économies de l'ordre de 1 cent/kWh peuvent être réalisées sur le coût des infrastructures de transport électriques. La figure 5 illustre la différence entre les deux philosophies et les effets sur le facteur d'utilisation en tenant compte d'un vent moyen de 9 m/s.

De telles spécifications pourraient être exigées par Hydro-Québec lors des futurs appels d'offres.

Utilisation du stockage énergétique

L'ajout de stockage énergétique permettrait d'augmenter la puissance éolienne sur le réseau, par l'injection stratégique de puissance sur le réseau lors des creux de production éolienne. Les voitures à propulsion hybride branchables représentent le meilleur espoir à court terme de voir l'électricité sur nos routes. La plupart des grands manufacturiers automobiles travaillent sur le développement de modèles hybrides branchables. Des essais effectués à l'Université Laval sur une Prius modifiée afin de se recharger sur une prise 115 V, nous a permis de rouler 2000 km sur un seul réservoir, sans perdre l'autonomie et la puissance des véhicules conventionnels. Au Québec, un parc de 1 million de véhicules représenterait un stockage énergétique nominal de 5000 GWh (chaque véhicule possède 5 kWh de batteries), soit approximativement l'énergie produite par la centrale de Gentilly pour toute une année. La présence sur le réseau électrique de véhicules électriques représente un potentiel de stockage fort intéressant, le coût du stockage étant assumé par les propriétaires des véhicules.

Autre type de stockage, le stockage inertiel, constitué par une roue en rotation dans une enceinte sous vide, représente un autre moyen intéressant de stocker de l'énergie. Contrairement aux accumulateurs électrochimiques (Li-ion, NiMH qui sont limités à 1000-2000 cycles), le stockage inertiel permet un nombre de cycles charge/décharge quasi infini. Un projet de recherche est actuellement en cours au LEEPCI, à l'Université Laval, en partenariat avec Hydro-Québec, afin de développer un volant d'inertie permettant une densité d'énergie de 275 kWh/m³. Un bâtiment situé à proximité des parcs d'éoliennes, abritant de tels volants d'inertie permettrait d'emmagasiner l'énergie sous forme cinétique lorsque les vents sont favorables et de décharger leur énergie vers le réseau électrique par vents faibles.

Une stratégie de gestion de réseau prenant en considération les éléments de stockage, autant inertiel que ceux d'un éventuel parc de véhicules électriques et hybrides branchables représente un potentiel intéressant qui permettra d'augmenter la puissance éolienne sur le réseau, en adaptant les stocks énergétiques à la production éolienne. En somme, l'exploitation de l'imposant potentiel éolien québécois repose sur la maîtrise de la fluctuation de la puissance éolienne, sur le développement de nouvelles technologies en matière de stockage énergétique, sur la disposition conséquente des sites éoliens et sur une adaptation des designs d'éoliennes aux sites éloignés. ■