

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À LA RÉGIE DE L'ÉNERGIE DU QUÉBEC
SUR LA SÉCURITÉ DES APPROVISIONNEMENTS EN ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC

Dr. Maxime Dubois ing.

Président et Chef de la Direction Scientifique

Éocycle Technologies Inc

Le 5 avril 2004

1. INTRODUCTION

Ce mémoire est présenté à la Régie de l'énergie du Québec, dans le cadre de la réflexion sur la sécurité des approvisionnements énergétiques au Québec.

Dans son mémoire, Hydro-Québec-Distribution indiquait que la croissance explosive de la construction résidentielle des dernières années a fait grimper la consommation en électricité. Hydro-Québec Distribution planifie que les ventes d'électricité pour les années à venir seront supérieures aux ressources en électricité disponibles.

Une des solutions proposées par Hydro-Québec et par le gouvernement du Québec est la construction d'une centrale à combustion thermique au gaz naturel. Quoique moins polluante par rapport à l'utilisation de la centrale de Tracy, par exemple, cette proposition demeure beaucoup plus polluante que les centrales hydroélectriques ou d'autres formes d'énergie électrique dites renouvelables.

Considérant le réchauffement planétaire anticipé par le Groupe Intergouvernemental sur les Échauffements Climatiques dû principalement à l'augmentation de la concentration de bioxyde de carbone dans l'atmosphère, il est impératif que le gouvernement du Québec régisse les différentes sources d'émission de carbone au Québec afin de rencontrer les objectifs mis en place à Kyoto.

Il est de l'avis de l'auteur que l'atteinte de ces objectifs n'est pas la seule responsabilité d'Hydro-Québec, mais d'abord et avant tout celle du gouvernement du Québec. Il est possible, par exemple, de permettre à Hydro-Québec de construire une centrale polluante si, d'autres parts, le gouvernement légifère dans le domaine automobile afin de réduire le nombre et la consommation des véhicules. Ou encore, un investissement massif dans le transport en commun pourrait fort bien compenser la pollution provenant d'une telle centrale additionnelle. L'auteur croit également qu'il existe une multitude de solutions possibles dans le domaine de la conservation de l'énergie et que ces sujets doivent être traités avec autant de priorité.

Malgré la grande diversité des solutions existantes, le mémoire choisit de se concentrer plus particulièrement sur l'utilisation d'éoliennes pour la génération d'électricité dans le contexte spécifique du Québec.

2. CARACTÈRE SPÉCIFIQUE DU POTENTIEL ÉOLIEN QUÉBÉCOIS

Le parc éolien mondial possède une puissance installée de 39 000 MW. Plus de 75% de cette puissance est installée en Europe, soit principalement en Allemagne, en Espagne, au Danemark et aux Pays-Bas. Vu la densité importante de la population dans ces pays, les distances entre les éoliennes et les points de consommation de l'électricité sont généralement assez faibles. De plus, la plupart de ces pays n'utilisent pas l'électricité comme source de chauffage résidentiel et les extrêmes de températures descendent rarement sous les zéros degrés Celsius.

Le Québec dispose de ressources éoliennes extraordinaires, principalement dans les zones suivantes:

- Gaspésie et région de Matane (superficie potentielle environ 25 000 km²)

- Îles de la Madeleine (superficie potentielle environ 1 000 km²)
- Basse Côte-Nord (superficie potentielle environ 10 000 km²)
- Réservoir Gouin et Haute-Côte-Nord (superficie potentielle environ 30 000 km²)
- Pointe extrême-nord du Nouveau-Québec (superficie potentielle environ 150 000 km²)
- Île Anticosti (superficie potentielle environ 10 000 km²)
- Charlevoix et Lac St-Jean (superficie potentielle environ 30 000 km²)

En prenant comme hypothèse que 10 % du territoire de ces zones peut être occupé par des éoliennes de puissance 1 MW à vitesse variable et qu'une distance de 200 mètres sépare chacune des éoliennes localisées sur le territoire occupé, le potentiel éolien peut être chiffré comme suit:

- Gaspésie et région de Matane (Potentiel de puissance installée 62 500 MW, Potentiel de puissance moyenne 22 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 193 TWh)
- Îles de la Madeleine (Potentiel de puissance installée 2 500 MW, Potentiel de puissance moyenne 1 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 9 TWh)
- Basse Côte-Nord (Potentiel de puissance installée 25 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 9 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 79 TWh)
- Réservoir Gouin et Haute Côte Nord (Potentiel de puissance installée 75 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 25 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 219 TWh)
- Pointe extrême-nord du Nouveau-Québec (Potentiel de puissance installée 375 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 140 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 1226TWh)
- Île Anticosti (Potentiel de puissance installée 25 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 8 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 70 TWh)
- Charlevoix et Lac St-Jean (Potentiel de puissance installée 75 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 23 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 201 TWh)
- Total = (Potentiel de puissance installée 640 000 MW, Potentiel de puissance moyenne 228 000 MW, Potentiel d'énergie fournie annuellement 1997 TWh)

Il est à noter que ces chiffres ne sont donnés que pour illustrer le fantastique potentiel du Québec dans ce domaine, mais qu'ils ne sont que le résultat des hypothèses énoncées ci-haut. Des calculs et des mesures plus poussés doivent être menés afin d'augmenter la précision de ces chiffres. Mais, même avec une erreur d'un facteur 10, on obtiendrait un potentiel éolien tout-à-fait remarquable.

Bien que le potentiel éolien du Québec soit très important, son utilisation demeure difficile, principalement due à la distance importante qui sépare les sites de consommation (Montréal, Québec, etc.) des sites de génération énoncés ci-haut. Il s'agit là d'une première spécificité du potentiel éolien québécois.

Une seconde spécificité du Québec en matière énergétique est l'utilisation massive d'électricité pour le chauffage résidentiel.

Une troisième spécificité du Québec en matière énergétique est la présence de pointe de température extrêmes en hiver.

Ces trois spécificités amènent deux difficultés importantes quant à l'exploitation du potentiel éolien. Ces difficultés sont:

- Déficience de contribution à la pointe de puissance;
- Coûts importants des infrastructures de transport d'électricité;

Bien sûr, d'autres difficultés techniques existent quant à l'implantation de parcs éoliens. Notamment la coordination des protections électriques et la qualité de l'onde électrique fournie doivent être analysés avec soin. Cependant, ces dernières difficultés sont moins spécifiques à la problématique québécoise et nous choisissons de ne pas les traiter dans ce mémoire. Le reste du mémoire traite des deux difficultés énoncées ci-haut, lesquelles sont caractéristiques de l'environnement énergétique du Québec.

3. CONTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE À LA POINTE DE CONSOMMATION

L'expérience nous apprend que le vent varie. Tantôt puissant, tantôt absent, le vent peut amener une éolienne à fournir tantôt sa puissance installée, tantôt une puissance nulle. En moyenne, sur une année, une éolienne fournira entre 20% et 35% de sa puissance installée.

En incluant la contribution du projet de Trans-Canada Energy à Bécancour, les besoins énergétiques additionnels requis, identifiés par Hydro-Québec-Distribution, sont de l'ordre de 7 TWh par an en l'an 2010. Ces besoins pourraient donc théoriquement être comblés par des parcs éoliens de puissance installée totale de 4000 MW. Tel que discuté plus haut, le potentiel éolien du Québec peut largement remplir ce besoin.

Cependant, dans l'analyse de la sécurité énergétique du Québec, la seule analyse basée sur la quantité totale annuelle d'énergie (en TWh) est insuffisante. Nous nous devons de considérer également la puissance de consommation (en MW). Il est primordial d'assurer que la pointe de consommation n'excède jamais la puissance disponible sur le réseau. Or, l'ajout d'une éolienne de 1 MW, par exemple, ne permet pas de garantir une contribution à la pointe de consommation de 1 MW, car il est probable que la pointe de puissance de consommation se produise lorsque l'éolienne de 1 MW est au repos. Dans le jargon technique, on attribue alors un "crédit de capacité" (traduction du terme anglo-saxon "capacity credit") de 0 MW. Le crédit de capacité attribuable à une source énergétique est la puissance sur laquelle le gestionnaire du réseau électrique peut compter pour alimenter la pointe de puissance de consommation en tout temps.

Cependant, il est faux d'attribuer un crédit de capacité nul à toute installation éolienne. L'établissement du crédit de capacité est une tâche délicate, qui doit tenir compte:

- la répartition des éoliennes sur le territoire;
- l'interrelation des probabilités de vents entre les divers parcs éoliens;
- la corrélation entre les vents obtenus aux différents parcs d'éoliennes ainsi que leur probabilité respectives et les facteurs affectant la pointe de consommation;
- la présence d'autres sources d'électricité sur le réseau.

Certains auteurs ont traité du crédit de capacité éolien¹ et il est possible d'affecter un crédit de capacité non nul à une ou des installations éoliennes.

Au Québec, les défenseurs de l'éolien font valoir que les pointes de consommation se produisent en hiver lorsque les froids sont intenses et lorsque le vent est puissant. Il est vrai qu'un froid intense augmente la densité de l'air et conséquemment la puissance éolienne produite. Sans le dire

¹ Bertrand Raison et Stéphanie Dupuis, "Capacity Credit Evaluation of Wind Energy Conversion Systems", IEEE Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering, Févr. 2002, Louvain, Belgique.

spécifiquement, ces individus attribuent un crédit de capacité de 100% de la puissance éolienne installée en se basant sur une forte corrélation entre la pointe de consommation et la production éolienne. La réalité est cependant beaucoup plus complexe. L'attribution d'un crédit de capacité de 100% ne peut pas être considéré comme valable, étant donné qu'il existe une distance importante (plus de 1000 km entre Cap-Chat et Montréal) entre le lieu géographique de production éolienne et le lieu de consommation.

Prenons par exemple la pointe du 14 janvier 2004. À cette date, la température est descendue à -29,1 degrés Celsius sur l'Île de Montréal et les pointes de vents ont atteint 54 km/h. Au même moment, la température à Cap-Chat variait entre -24,4 et -26,0 deg C. Au matin, les vents à Cap-Chat étaient de 61 km/h et chacune des éoliennes fournissait sa puissance installée. Cependant, au cours de la journée, les vents ont diminué, jusqu'à atteindre 19 km/h vers 18h00 le même soir. À ce moment, chaque éolienne fournissait seulement 10% de sa puissance installée.

Prenons un autre exemple. Le 22 janvier 2003, la température minimale enregistrée sur l'Île de Montréal était de -25,0 degrés Celsius. Les vents maximaux enregistrés à Montréal étaient de 59 km/h. La même journée, à Cap-Chat, la température variait entre -17,5 et -11,0 degrés Celsius, et les vents à 19h00 étaient de 20 km/h, pour une production éolienne de 10% de la puissance éolienne installée.

Autre exemple. Le 21 janvier 2001, la température minimale enregistrée sur l'Île de Montréal était de -23,6 degrés Celsius. La même journée, à Cap-Chat, la température minimale observée était de -11,5 degrés Celsius et les vents à 7h00 du matin étaient de 22 km/h, pour une production éolienne de 13% de la puissance éolienne installée.

Tous ces exemples démontrent que la très grande distance séparant le lieu de production éolienne du lieu de consommation de l'électricité résulte en des conditions climatiques très différentes et qu'il n'y a pas nécessairement concomitance entre la pointe de consommation et la pointe de production éolienne. En concentrant toutes les éoliennes du Québec dans une seule région du Québec, par exemple la Gaspésie, on n'augmente pas le crédit de capacité de ces parcs éoliens et celui-ci demeure faible, comme nous l'avons démontré dans les paragraphes précédents.

Une manière d'augmenter le crédit de capacité de l'éolien au Québec consiste à répartir les parcs éoliens sur plusieurs localisations géographiques, de manière à bénéficier de l'effet de moyennage des probabilités de vents. Autrement dit, il est possible que pour une heure donnée, il n'y ait pas de vents à Cap-Chat, mais qu'il y en ait au réservoir Gouin. Plus les parcs éoliens seront répartis sur des régions différentes, meilleur sera le crédit de capacité des infrastructures éoliennes au Québec. À notre connaissance, une analyse détaillée du crédit de capacité éolien n'a pas été faite au Québec et nous tenons à spécifier qu'une telle analyse est fortement recommandable.

4. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT DE L'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DE SOURCES ÉOLIENNES

Nous avons élaboré sur la grande distance séparant les lieux de production éolienne des lieux de consommation de l'électricité. Tel qu'indiqué précédemment, il s'agit là d'une des spécificités de l'éolien au Québec. Donc des infrastructures de transport d'électricité doivent être mis en place entre les lieux de production éolienne et les points de consommations. Or, ces lignes de transport doivent être dimensionnées pour supporter le courant maximal produit par le parc éolien, alors qu'en moyenne, un courant 3 à 4 fois plus faible circulera sur ces lignes. Le résultat est une infrastructure de transport sous-utilisée et une énergie éolienne coûteuse.

Également, vu les coûts importants des infrastructures de transport, seuls des parcs éoliens situés à proximité des lignes installées seront retenus. Ainsi, de nombreux sites en Gaspésie qui sont à fort potentiel éolien devront être éliminés, pour la seule raison qu'ils sont trop éloignés des lignes de transport qui transporteront l'électricité provenant de la péninsule vers Rimouski.

5. COMBINAISON ÉOLIEN ET STOCKAGE D'HYDROGÈNE

Le schéma de la figure 1 illustre les lignes de transport électrique actuellement disponibles dans le Bas-St-Laurent et la Gaspésie.

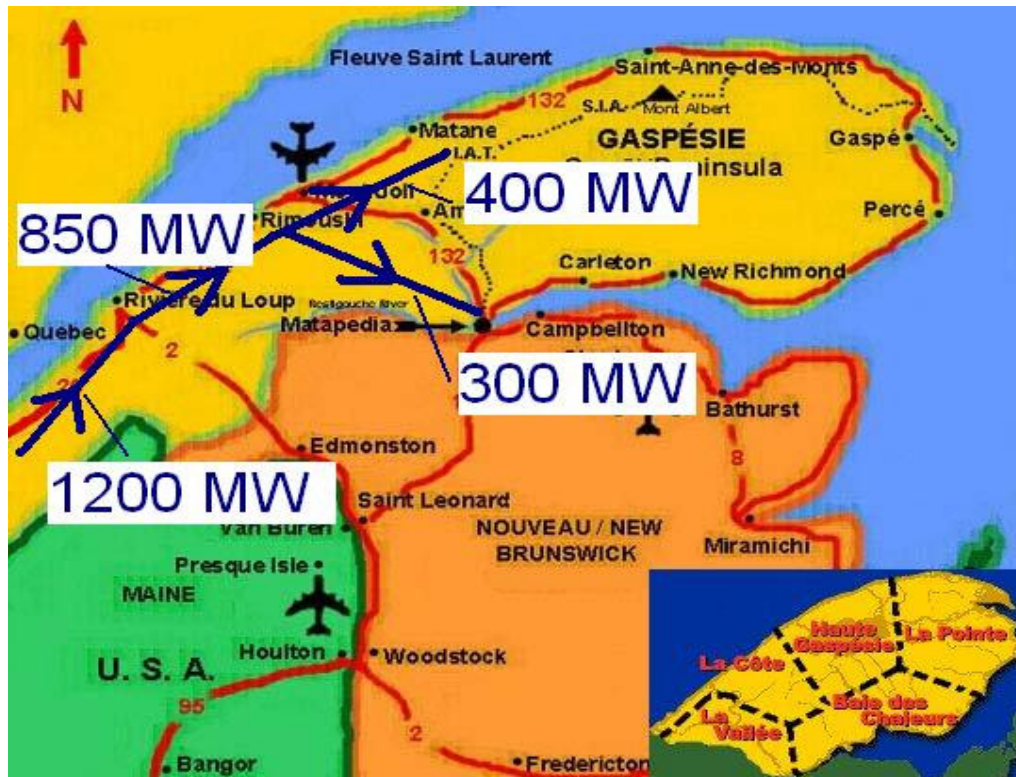


Figure 1: Lignes de transport d'électricité actuellement disponibles en Gaspésie et au Bas-St-Laurent.

Nous souhaitons proposer une option qui éliminerait le besoin de nouvelles lignes de transport d'électricité et permettrait de générer une énergie éolienne constante. Il s'agit de relier toutes les éoliennes par un pipeline qui transporterait de l'hydrogène jusqu'à Rimouski et de construire une centrale de combustion thermique à hydrogène à Rimouski. Le pipeline relierait ainsi toutes les éoliennes de la Gaspésie à la centrale de Rimouski, où les éoliennes alimenteraient des électrolyseurs permettant de convertir de l'eau en hydrogène. La centrale de Rimouski comporterait également un réservoir de stockage d'hydrogène, permettant de fournir l'hydrogène à la centrale lorsque les vents sont faibles et permettant d'accumuler l'hydrogène lorsque les vents sont forts.

Il est à noter que le stockage d'hydrogène dont il est question ici pourrait s'effectuer à des pressions raisonnables, par exemple 25 bars. Les problématiques de stockage à ces faibles pressions sont très différentes des problématiques de pressions pour les automobiles, où un stockage d'hydrogène à 400 bars exige des réservoirs en fibre de carbone ou autres technologies actuellement au stade de recherche.

Avec l'implantation d'un pipeline de transport d'hydrogène, aucune ligne additionnelle de transport n'est requise. En outre, la ligne de 850 MW entre Rivière-du-Loup et Rimouski transporterait la même

puissance, mais en sens contraire. Ce faisant, la Gaspésie et le Bas-St-Laurent deviendraient totalement autosuffisants en électricité, sans modification des infrastructures de transport d'électricité. La figure 2 illustre le concept proposé.

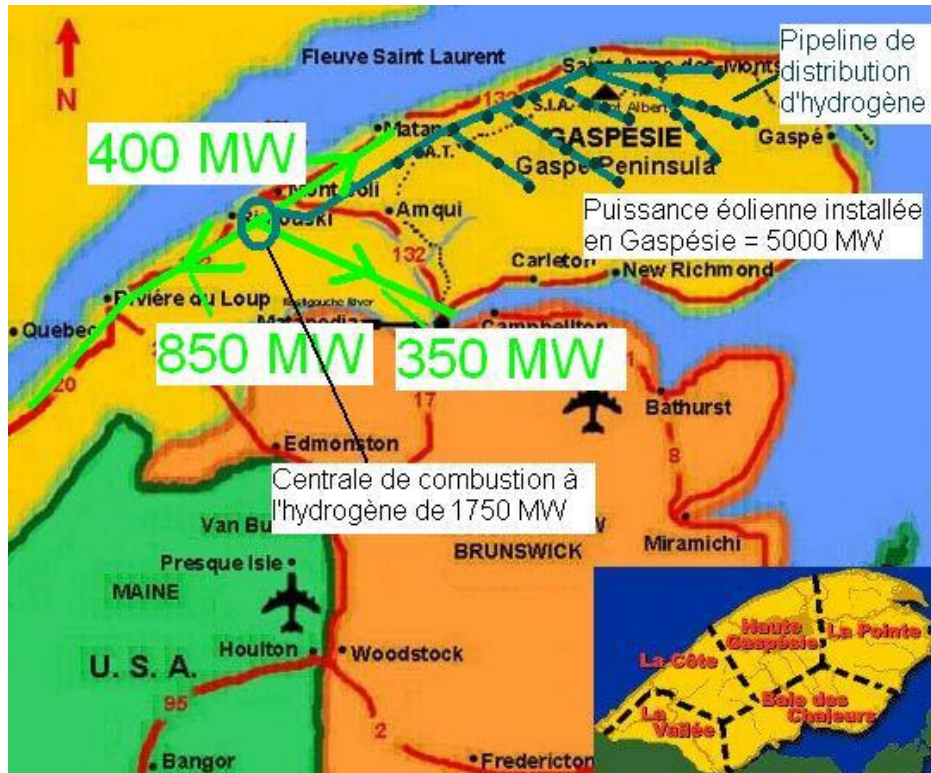


Figure 2: Ajout d'un pipeline de transport d'hydrogène entre la Gaspésie et Rimouski et d'une centrale à hydrogène de 1750 MW.

De cette manière, il serait possible de générer 1750 MW de puissance constante, qui serait indépendante de la force des vents et qui pourrait contribuer à la pointe de consommation à 100%. De cette puissance, 850 MW seraient retournées vers Rivière-du-Loup et Lévis. Annuellement, ce concept permettrait de générer 15 TWh d'énergie électrique, ce qui permettrait au Québec de sécuriser ses approvisionnements en électricité sans générer de pollution aucune. Il est à noter que la combustion d'hydrogène pour générer de la chaleur ne produit que de l'eau et qu'aucun gaz à effet de serre n'en serait généré.

La technologie des électrolyseurs est bien développée. Par exemple, la société ontarienne Stuart Energy Systems a installé plus de 1000 électrolyseurs dans le monde. Cette société évalue à environ 500 \$/kW les infrastructures d'électrolyse. Ces coûts doivent être ajoutés aux coûts des éoliennes, qui sont d'environ 2000 \$/kW. Cependant, en éliminant les lignes de transport additionnelles, les transformateurs, les frais d'interconnexions, les protections électriques, les onduleurs, il est possible de réduire les coûts en capital d'environ 650 \$/kW. Il reste à évaluer les coûts d'un pipeline de transport et d'une centrale à combustion thermique à hydrogène. Il est recommandé qu'une telle étude soit tenue afin d'en évaluer les coûts en entier.

Il est vraisemblable que les coûts de configuration proposée à la figure 2 seront supérieurs aux coûts

d'un réseau tout-électrique. Cependant, l'augmentation du crédit de capacité résultante pourra être comptabilisée de manière fiable et permettrait d'éliminer la réserve de capacité prévue par Hydro-Québec-Production pour tenir compte de l'absence de vents au moment de la pointe. La réserve pourra ainsi être utilisée pour la vente d'électricité sur des marchés extérieurs à des tarifs avantageux.

6. COMBINAISON ÉOLIEN RÉSIDENTIEL ET STOCKAGE THERMIQUE

Nous aimerions ici proposer une seconde alternative, laquelle vise l'utilisation de petites éoliennes résidentielles afin d'alimenter les chauffe-eau électriques résidentiels. L'implantation de petites éoliennes sur le toit des résidences permet en outre de bénéficier de l'effet de concentration des vents résultant des pentes des toits de résidences. En supposant que 10% des habitations du Québec se dotent d'une petite éolienne de puissance nominale 500 W, avec une puissance moyenne de 150 W, la contribution énergétique annuelle de ces équipements seraient d'environ 1 TWh à l'échelle du Québec. Cette énergie est donc insuffisante à elle seule pour assurer la sécurité des approvisionnements énergétiques du Québec. Cependant, cette contribution n'exige aucune dépense en capital de la part d'Hydro-Québec, étant donné que ces petites éoliennes seraient achetées directement par les particuliers, qui y verraient une manière de réduire leur facture d'électricité.

En branchant la sortie électrique de l'éolienne au chauffe-eau, il devient possible de réduire la pointe de consommation par l'effet du stockage de cette énergie sous forme d'eau chaude. De plus, une distribution de ces équipements sur tout le territoire du Québec permettra d'augmenter le crédit de capacité éolien associé à ces équipements, tel que discuté plus haut.

Également, un tel concept ne requiert aucune électronique de puissance, ce qui permet de réduire substantiellement le coût de cet équipement. Le principal défi d'un tel produit est d'assurer une installation esthétique. Bien qu'un tel produit n'existe pas pour le moment, il serait envisageable qu'une éolienne à axe verticale soit conçue et testée en partenariat avec l'entreprise privée. Une vente à grande échelle de ce produit, associée à des plans de financement avantageux permettraient un investissement minimal de la part des utilisateurs.