

LA SÉCURITÉ ET L'AVENIR ÉNERGÉTIQUES DU QUÉBEC

AVIS D'EXPERT

présenté au ministre des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs

LA SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LA FILIÈRE ÉOLIENNE

par

GAËTAN LAFRANCE

Professeur titulaire, INRS-ÉMT, Université du Québec
Professeur membre associé, GREEN, Université Laval

Québec
Novembre 2004

SOMMAIRE

Dans le cadre de l'élaboration de la *stratégie énergétique du Québec* et en perspective de la *commission parlementaire sur la sécurité et l'avenir énergétiques du Québec*, le ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, a retenu l'INRS-ÉMT pour fournir des services d'expert auprès de la Direction des politiques et des technologies de l'énergie. Le mandat consiste à produire un avis technique visant à informer le gouvernement et la population québécoise sur les questions spécifiques suivantes:

Question 1 : Sur la base de principes technico-économiques reconnus, quelle pourrait être la contribution optimale de la production éolienne dans un parc de production d'électricité comme celui du Québec?

Question 2 : Quelles seraient les avenues les plus prometteuses pour soutenir l'émergence et le développement de nouvelles sources d'énergie renouvelable et assurer leur rentabilité à long terme pour l'ensemble de l'économie du Québec?

Partie I : Moulins à vent ou moulins à eau?

La contribution optimale de l'éolien au Québec dépend de plusieurs facteurs et contraintes qui sont d'ordre physique (qualité du site), technique (facilité d'intégration au réseau), environnemental, social, légal et économique. Déjà l'expérience récente montre que l'éolien rencontre avantageusement la plupart de ces critères. Les études de potentiel ont montré que le Québec était avantagé pour la qualité de ses vents. L'énergie éolienne jouit d'une perception positive de la part de la population. En se basant sur les prix soumissionnés lors du dernier appel d'offres rendu public en octobre 2004, on peut constater que l'éolien commence à se comparer avantageusement aux filières classiques. Finalement, nos études sur le couplage hydro-éolien ont montré qu'à l'horizon 2015, l'énergie éolienne pouvait représenter 10% de la capacité du système Québec/Labrador sans modifier significativement les actifs actuels du réseau. Ce pourcentage¹ représente plus de 4000 MW d'énergie éolienne.

¹ Ce calcul est basé sur nos simulations en tenant compte du dernier plan d'approvisionnement déposé à La Régie de l'énergie en novembre 2004.

Quelle est la contribution maximale de l'éolien? La question ne se pose plus à partir du moment où les conditions optimales de compétition sont réunies. Si l'éolien est compétitif, le résultat du 10% de la capacité du réseau peut être dépassé. Mais ces avancés méritent un certain nombre de confirmations sur l'intérêt réel de la filière éolienne. Il faut reconnaître que la gestion en temps réel des opérations d'un réseau électrique a son lot de contraintes. Bien que l'éolien soit une option prometteuse, l'exploitant de réseau ne peut considérer une intégration massive de la filière sans une validation qui satisfasse l'ensemble des critères d'exploitation. Par analogie, tout nouveau prototype de véhicule routier doit passer par une série de tests avant d'être commercialisé.

Avant le lancement du prochain appel d'offre de 1000 MW, il est suggéré de faire une série de tâches spécifiques qui vont notamment indiquer la stratégie optimale de localisation des parcs éoliens. Afin de ne pas nuire à la progression de la filière éolienne, ces travaux doivent être faits rapidement. Pour le prochain 1000 MW, l'objectif est de lancer l'appel d'offre avant la fin de l'année 2005 pour les sites les plus prometteurs. Pendant que les promoteurs font l'analyse de terrain, les analyses systémiques se poursuivent afin de minimiser les coûts d'intégration.

Pour la suite des choses, l'éolien a deux ennemis principaux : la faible croissance de la demande et le mécanisme contraignant du choix des filières. Dans un contexte où le choix des différentes filières se fait encore en fonction de leur spécialisation en termes de puissance de base, de moyenne et de fine pointe, on comprendra que l'éolien ne se classe nulle part.

En ce sens, après consultation auprès de quelques intervenants de l'industrie, il est préférable de conserver le système de quota tant et aussi longtemps que les preuves n'auront pas été faites que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur par l'ensemble des intervenants. Quelles sont ces avenues qui vont permettre une comparaison équitable pour l'éolien? Il faut d'abord se questionner sur le cadre réglementaire actuel. Si le Québec veut s'ouvrir plus à l'éolien, va-t-il encore fonctionner par décret? L'offre et la demande d'énergie réagissent à une série de conditions de marché. Trop s'éloigner de ces conditions aurait des impacts négatifs sur les Québécois et leur économie. Le pari que nous faisons c'est que d'ici une décennie l'éolien gagnera en compétitivité par rapport aux filières

classiques. Autant commencer à préparer tout de suite des règles du jeu équitables.

Moulins à eau ou moulins à vent? Le sort de l'éolien est étroitement lié à celui de la grande hydraulique et vice-versa. Des mesures plus générales soutiennent le développement des deux grandes renouvelables. Compte tenu de la flexibilité du système en place, toute nouvelle construction, qu'elle soit hydraulique, éolienne ou hydroéolienne doit être pensée dans un plan optimal de long terme. Ça peut vouloir dire de devancer certains ouvrages. À ce sujet, sans entrer dans le débat plus général des exportations, il semble tout à fait judicieux de continuer la pratique historique d'avoir une surcapacité de 10% en puissance électrique. Tout en permettant de profiter du marché externe, cette marge de manœuvre apparaît comme de la saine gestion pour faire face aux aléas de demande et de faible hydraulité.

Nous rappelons que le Canada et le Québec se sont engagés à respecter le protocole de Kyoto, ce qui implique une démarche rigoureuse de comparaison des options. Toute comparaison des options de production d'électricité dans le futur doit considérer le coût des tonnes des gaz à effet de serre évités. Dans le passé, le Québec a eu plusieurs politiques favorisant l'électrification. Dans le cadre des engagements de Kyoto, il devient tout aussi approprié de supporter une électrification accrue, notamment dans le transport urbain. On fait alors d'une pierre deux coups : on réduit les gaz à effets de serre et on favorise des énergies renouvelables de qualité comme l'hydraulique et l'éolien.

Partie II : Les systèmes de plus petites tailles et la R&D

Pour les systèmes de production électrique de plus petite taille, éolien et solaire photovoltaïque principalement, il est suggéré d'examiner deux mesures législatives : la tarification inverse et les compteurs inversés (*net metering*). Tout en étant conscient que ce type de production distribuée ne peut avoir un impact important sur le bilan énergétique du Québec, le gouvernement doit s'y intéresser parce que les innovations et les retombées régionales qui peuvent en résulter ne sont pas négligeables.

Pour favoriser l'émergence des nouvelles technologies de l'énergie en général, il faut bien sûr assurer un support à la R&D énergétique. Grâce à un soutien de première heure dans la R&D, le Québec a exercé un leadership dans un grand nombre de domaines liés aux technologies énergétiques d'avant-garde. Bien souvent les fonds de démarrage ont été minimes. Mais ils ont suffi à constituer des expertises de haut niveau tant sur le plan

national et qu'international, en hydrogène, dans les piles à combustibles, en pile ACEP, en voiture électrique, en modélisation, en fusion ... et bien d'autres domaines.

Reconnaître l'ingéniosité québécoise dans le domaine de l'énergie, c'est admettre que les priorités de tous les acteurs ont été établies dans ce sens, que ce soit dans l'industrie, l'académique, l'institutionnel ou autre. Le dernier succès en liste est bien entendu le démarrage de l'industrie éolienne. Il faut souligner ici la vision cohérente des gouvernements successifs qui par leur support ont permis l'émergence d'équipes de niveau international dans tous les milieux.

Une question se pose : le Québec est-il toujours positionné, d'une part pour assurer son leadership actuel, de l'autre pour permettre l'émergence de nouvelles idées dans le domaine des renouvelables et des nouvelles technologies de l'énergie? Les chiffres sont préoccupants. Depuis plus d'une décennie, le soutien financier pour la R&D énergétique et le nombre de professionnels impliqués sont en chute libre dans tous les milieux : académique, institutionnel, para-public et privé. Mais surtout la synergie des divers acteurs s'estompe. Qui va remplacer Hydro-Québec qui a fait office de « GM ou de Shell québécois » dans la mise de fond initial pour la recherche exploratoire du côté nouvelle technologie énergétique? Par analogie, le modèle des années 70 a permis le décollage d'avions. Mais une fois dans les airs, le carburant commence à manquer. Et les avions qui sont au sol n'ont même pas de pilotes pour les faire décoller.

Comment remédier à la situation? Bien qu'une réflexion sur le rôle de la R&D chez Hydro-Québec, dans l'académique et ailleurs soit suggérée, il est hors de question de faire la bataille au niveau de chaque institution. La seule façon de relancer l'intérêt pour la recherche et la formation en énergie, c'est de favoriser à nouveau une synergie entre les différents acteurs et d'inciter chaque institution à remettre à l'ordre du jour une priorité à l'énergie. Une nouvelle approche est proposée : la création d'un centre de support à la R&D énergétique (CSRED). Le fonctionnement d'un tel regroupement d'activités peut s'inspirer de plusieurs modèles existants. Un modèle en particulier retient notre attention, c'est Ouranos, un regroupement de chercheurs oeuvrant dans le domaine du changement climatique.

Ce modèle ne couvre sûrement pas toute la mission d'un « IREQ » de 1969 par exemple.

Mais c'est un bon point de départ pour une réflexion sur une nouvelle formule qui raccrocherait tous les intervenants du secteur énergétique. En termes de programmation de recherche, un tel centre devrait considérer deux types de priorités : a) des projets stratégiques à horizon définis; b) des projets exploratoires pour des horizons plus lointains.

L'organisation du document

Pour les besoins de notre étude, nous avons défini deux grandes catégories de renouvelables, ce qui correspond en pratique à deux sections différentes d'analyse. La première section du document est consacrée à la problématique particulière de l'hydroélectricité et de l'intégration des grands parcs d'éolien sur le réseau. Pour aider à la compréhension des enjeux, quelques prémisses concernant les opérations d'un réseau électrique et le choix de filières sont présentées. La deuxième section de ce document s'intéresse aux autres renouvelables ainsi qu'aux technologies émergentes qui ont fait l'objet d'un support institutionnel dans le passé.

Ce document répond à la requête de fournir un texte vulgarisé afin de faciliter la compréhension d'enjeux qui sont par ailleurs complexes à modéliser. Une liste de références plus techniques est cependant suggérée pour les lecteurs désireux d'en savoir un peu plus. Les annexes ont également pour but de donner un peu plus d'informations détaillées qui peuvent aider à la compréhension de la problématique globale.

Les principales conclusions ont été présentées le 2 décembre à la *Commission parlementaire sur la sécurité et l'avenir énergétiques du Québec*. Il convient de signaler que plusieurs intervenants ont été consultés sur des questions particulières afin de prendre le pouls des différentes préoccupations du milieu sur les questions sous-jacentes à ce mandat. L'auteur tient à les remercier. Il faut également souligner l'apport des collègues et collaborateurs usuels pour leurs très bonnes suggestions concernant certains points particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire

Table des matières

Liste des tableaux, graphiques et recommandations

PARTIE I Moulins à eau ou moulins à vent?

1	La gestion d'un parc électrique	2
1.1	Caractéristique de la demande	2
1.2	Un choix des filières mal adapté pour l'éolien	5
1.3	Le choix des filières : le nouveau contexte	6
1.3.1	Un nouveau contexte d'affaire	6
1.3.2	Un nouveau contexte réglementaire	7
2	La contribution optimale de l'éolien au Québec	9
2.1	Couplage hydro-éolien : le potentiel technique	9
2.2	Les conditions d'opérations optimales qui avantagent l'éolien	11
2.3	Contribution optimale de l'éolien au Québec	12
2.4	Y a-t-il encore une place pour l'hydroélectricité?	14
2.5	Moulins à eau ou moulins à vent?	15

PARTIE II Technologies de l'énergie et petits systèmes

3	Nouvelles technologies de l'énergie	17
3.1	Les technologies où le Québec a exercé un leadership	17
3.2	Les formes usuelles d'incitatif	23
3.3	Les mesures suggérées	25
3.3.1	Les soutiens financiers et politiques	25
3.3.2	La revalorisation de la R&D énergétique	26
	Références	31
	Annexe I : Le contexte politique lié à ce mandat	32
	Annexe II : Enjeux spécifiques pour l'éolien	35
	Annexe III Cartes du Potentiel éolien : Québec	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Approvisionnement prévu à l'horizon 2014 (TWh)

Tableau 2 : Liste de mesures à envisager pour le soutien aux nouvelles technologies de l'énergie

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1: Demande électrique mensuelle

Graphique 2 : Courbe de puissance classée

Graphique 3 : Import/export du Québec selon le type de contrat

Graphique 4 : Demande électrique vs énergie éolienne

Annexe 3 : Carte de potentiel éolien selon diverses sources

LISTE DES RECOMMANDATIONS ET QUESTIONS

Relatives à la gestion de réseau et à la croissance de la demande électrique : R1 à R4, page 2 à 7; R13 page 14.

Cadre réglementaire : R5 page 8.

Potentiel physique de l'éolien : R6 et R7, page 9.

Prochain appel d'offre de 1000 MW : R8, R9 et R10, page 11; R12, page 13.

Liste de travaux spécifiques en éolien : Annexe II.

Quota pour l'éolien : R11, page 13.

Appui général à l'hydroélectricité et à l'éolien : R14 et R15, page 14.

Contexte de Kyoto : R17 et R18, page 15.

Petits systèmes de production d'électricité (tarification inverse ou autre), voir tableau 2, page 30.

Carburants verts et biomasse, page 20.

R&D : prise de conscience des institutions : page 28.

R&D : création d'un centre de support, page 28.

Partie I

Moulins à eau ou Moulins à vent?

1 LA GESTION D'UN PARC ÉLECTRIQUE

1.1 CARACTÉRISTIQUE DE LA DEMANDE

La demande d'électricité est l'ensemble des besoins pour lesquels l'entreprise a des engagements. Comme le montre le graphique 1, où le cas du Québec est présenté, cette demande varie au cours de l'année. La demande varie également selon les cycles journaliers et hebdomadaires, selon les régions et les secteurs de consommation.

Cette fluctuation continue de la demande électrique est le reflet des habitudes de vie de la population (heures de repas, de travail, de sommeil, vacances, etc.) et des phénomènes géoclimatiques (climat, luminosité). La structure de l'économie donne également une signature au profil de charge d'un réseau. Selon l'importance de chaque secteur de consommation, le profil global de la charge se modifiera dans le temps (graphique 2).

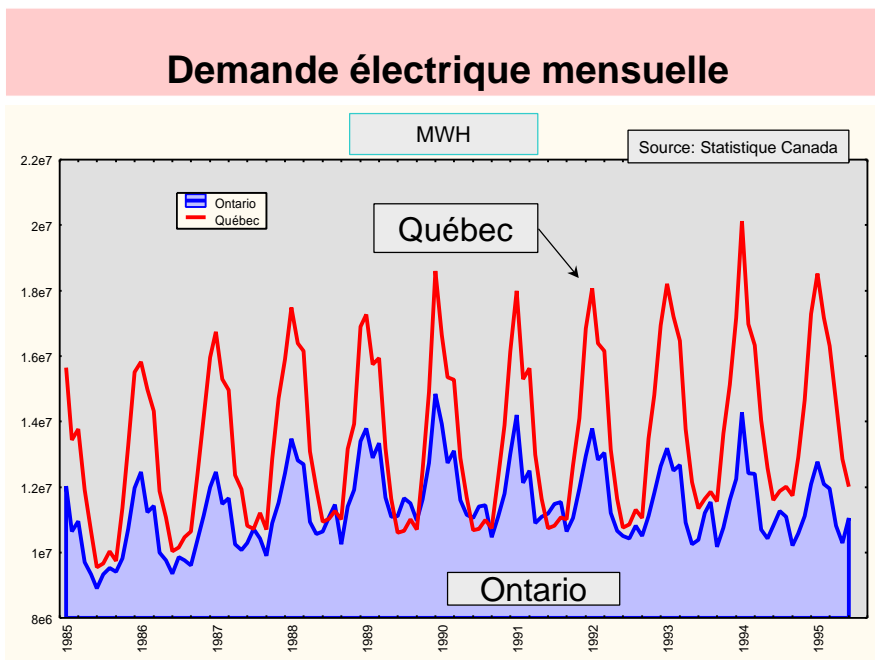
Pour des régions nordiques, la demande atteint un maximum en décembre/janvier et un minimum en période estivale. Mais pour une région où le chauffage est moins important, une demande de pointe sera observée en saison chaude, là où la climatisation est plus importante. C'est le cas pour l'Ontario et la plupart des régions aux États-Unis. Qui ne se rappelle pas la grande panne du 14 août 2003, en Ontario et dans les États voisins, causée en partie par une trop grande demande de climatisation?

Cette variation régionale de la demande nous amène à un premier constat :

- 1. Comme la demande est complémentaire d'un réseau à l'autre, il est en général avantageux pour chaque système de coupler leurs efforts d'approvisionnements.**

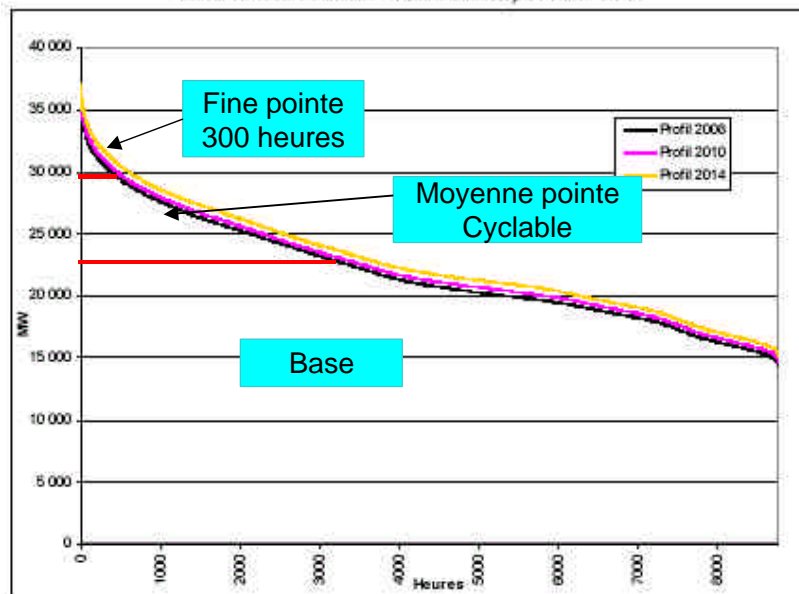
Cette idée, on le sait maintenant, a été fortement avantageuse pour Hydro-Québec depuis que le marché américain s'est ouvert au marché de gros et de détail. Tout en assurant une marge de manœuvre pour ses propres périodes de pointe, la grande flexibilité du réseau hydroélectrique du Québec/Labrador a permis à Hydro-Québec de devenir un *peaker* du nord-est (graphique 3).

Graphique 1 : Demande électrique mensuelle : Québec et Ontario (1985-1995)



Courbe de puissance classée

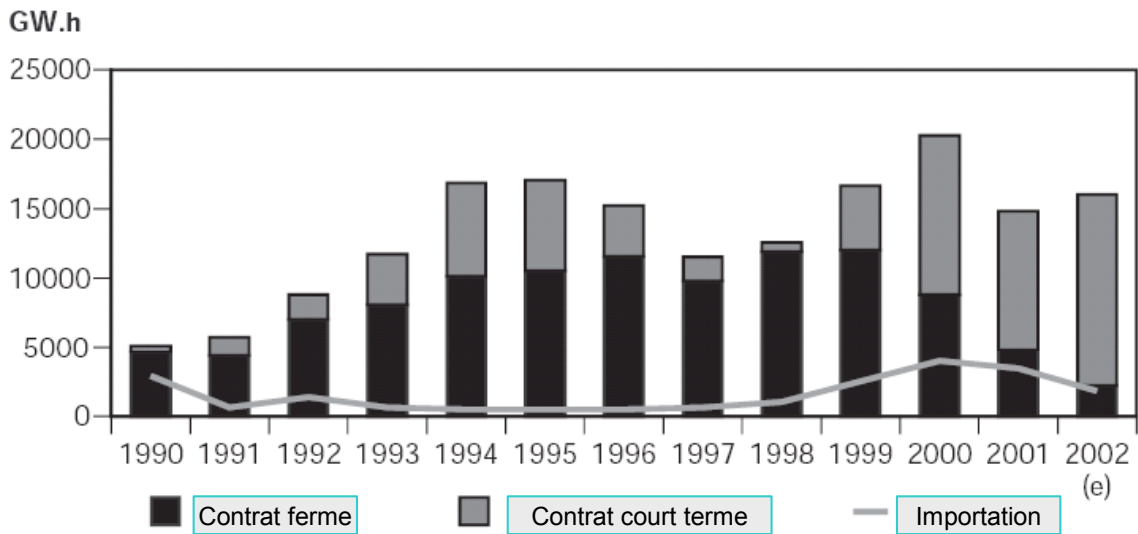
Évolution des courbes de puissances classées du profil horaire des besoins - Année 2008, 2010 et 2014



Source HQ, plan de 2014

Graphique 2 : Courbe de puissance classée : 2008, 2010, 2014

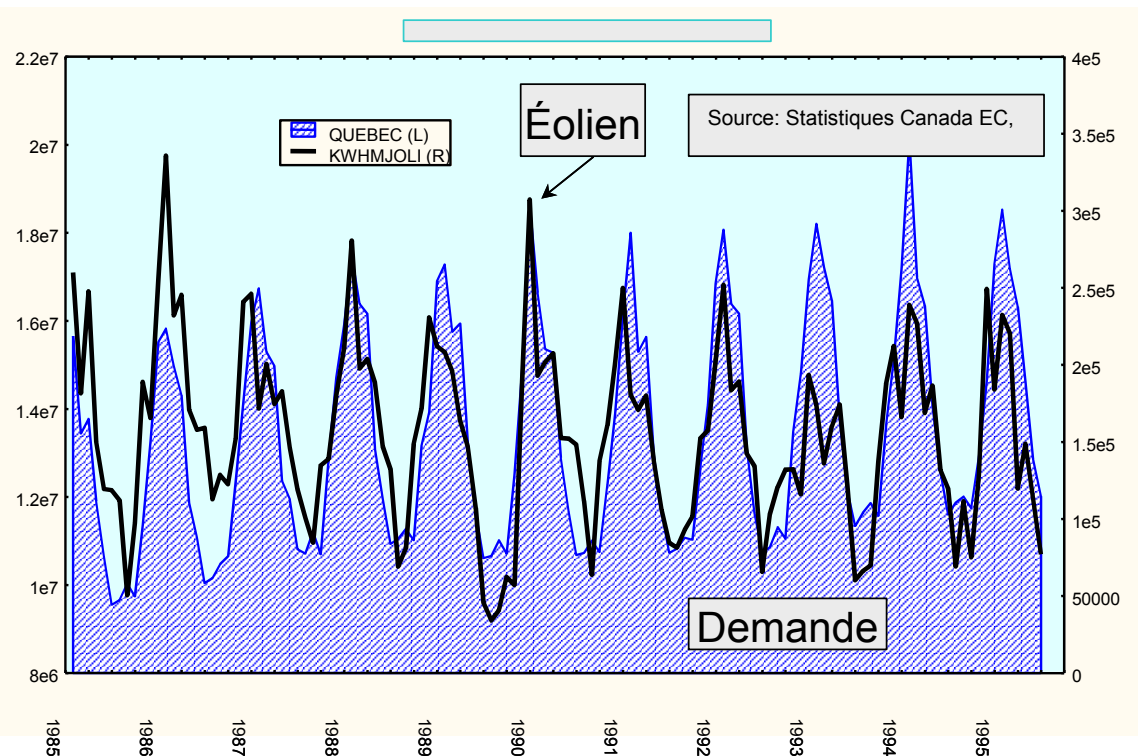
Contributions des renouvelables : Avis technique



Source: NEB

Graphique 3 : Import/export du Québec selon le type de contrat

Demande vs énergie éolienne



Graphique 4 : Corrélation (demande électrique) / (énergie éolienne) (base mensuelle)

Par ailleurs, si on revient à la croissance de la demande électrique du Québec, il faut observer que le taux de croissance aura tendance à plafonner à long terme. En outre, les prévisions de demande d'électricité suggèrent une croissance plus forte dans le secteur industriel. Cela nous amène à une deuxième constatation :

- 2. Au Québec, la croissance de la demande électrique plus faible que par le passé a des conséquences sur la taille des projets proposés pour l'approvisionnement et sur leur spécialisation; par exemple, un projet de la taille de Grande-Baleine s'en trouve défavorisé par rapport à des centrales thermiques ou éoliennes.**

1.2 UN CHOIX DES FILIÈRES MAL ADAPTÉ POUR L'ÉOLIEN

Pour un producteur d'électricité, il n'est pas suffisant de disposer de toute l'énergie nécessaire pour satisfaire la demande sur une base annuelle, mais encore doit-il être en mesure de répondre aux variations d'intensité au moment où elles surviennent. Le producteur doit donc disposer d'un nombre suffisant de moyens pour être en mesure de satisfaire l'intensité de la demande la plus forte, et cela en tenant compte des divers aléas.

Il faut reconnaître que la gestion en temps réel des opérations d'un réseau électrique a son lot de contraintes qui impose des choix stratégiques complexes. Dans un système comme celui d'Hydro-Québec, la gestion des apports doit se faire pour tous les horizons (court, moyen et long terme) afin d'assurer une sécurité d'approvisionnement en tout temps. L'opération du système est optimisée à tous les niveaux : de la turbine au poste de distribution. La gestion de la réserve impose une vitesse de réaction pratiquement instantanée.

Bref, bien que le choix du portefeuille de ressource se fasse sur une approche de long terme, la fiabilité, la maturité et la flexibilité des équipements proposés vient teinter les choix finaux. Pour une énergie émergente comme l'éolien, cette discussion n'est pas inutile. En partant, et c'est normal, l'éolien suscite une certaine prudence pour l'opérateur de réseau qui doit par ailleurs satisfaire à un tas de normes. En outre, l'intermittence de l'éolien ajoute un aléa au système (notamment pour la gestion de la réserve) qui se répercute en un coût d'équilibrage mal estimé pour le moment.

Une autre pratique de gestion ne favorise pas l'éolien. Historiquement, les gestionnaires de réseau avaient comme stratégie de fonctionner en mode « autonomie totale ». La capacité de production était donc composée d'équipements qui avaient des spécialisations :

- Les **équipements de base** qui fournissent l'énergie pour la demande de base, sont incluses les centrales hydroélectriques, les centrales thermiques classiques (au charbon, par exemple), les centrales nucléaires. Bien que l'entretien périodique soit nécessaire, le taux d'utilisation de ces équipements est maximal. Comme au Québec, l'hydroélectricité est la base du système, la capacité des réservoirs a été déterminée pour faire face aux aléas des apports d'eau d'une année à l'autre. Ce point est important pour la suite de notre présentation. Au Canada, et au Québec en particulier, la grande caractéristique de nos bassins hydrauliques, c'est qu'ils sont gérables sur une base multi-annuelle. À quelques exceptions près, ce n'est pas le cas aux États-Unis.
- Les **équipements de moyenne pointe** correspondent souvent aux mêmes formes d'énergie que celles utilisées pour les équipements de base : au Québec, on a sur-équipé les barrages par l'ajout de puissances additionnelles.
- Le choix des **équipements de fine pointe** est d'abord basé sur leur possibilité de répondre rapidement à des augmentations de demande; les turbines à gaz ont cette caractéristique; au Québec, ces équipements de pointe sont prévus pour être utilisés environ 300 heures par année. Toutes les compagnies utilisent aussi la gestion de charge comme moyen complémentaire pour assurer la sécurité du réseau.

Déjà, on devine toute la problématique de ce mode de choix de filières pour une source d'énergie à caractère intermittent comme l'éolien. Dans un contexte où le choix des différentes filières se fait encore en fonction de leur spécialisation en termes de puissance de base, de moyenne et de fine pointe, on comprendra que l'éolien ne se classe nul part.

Il faut donc réfléchir autrement.

1.3 LE CHOIX DES FILIÈRES : LE NOUVEAU CONTEXTE

Depuis 1996, trois grands événements ont changé le contexte stratégique dans le secteur électrique au Québec : a) la politique énergétique du gouvernement du Québec émise en 1996; b) Les conditions de participation au marché ouvert dans le nord-est américain; c) l'impact de la loi 116 et des autres modifications au cadre réglementaire.

1.3.1 Un nouveau contexte d'affaire

Le nouveau contexte d'affaire a mis en évidence les grandes qualités du système Québec/Labrador pour profiter du marché court terme des échanges énergétiques dans le

nord-est. Ce jeu d'achat/rachat selon les opportunités pointe et hors pointe a confirmé les avantages énormes de pouvoir gérer des réservoirs conçus pour stocker d'énormes réserves énergétiques. De surcroît, les turbines hydrauliques ont l'immense avantage de pouvoir être démarrées en peu de temps par rapport à des turbines thermiques classiques.

De l'expérience des dernières années, d'autres conclusions en ressortent :

- 3. Le nouveau contexte d'affaire a induit une nouvelle façon de gérer la réserve qui questionne les nouveaux développements de production, y compris la taille des nouveaux réservoirs; en outre tout nouveau choix de filière doit se faire en considérant l'ensemble du système, et non pas seulement l'augmentation de la demande interne;**
- 4. Par ailleurs, le choix des prochaines filières ne doit plus se faire en fonction de la gestion de pointe exclusivement; de plus en plus le problème actuel du Québec en est un de capacité énergétique, et non de puissance brute; à cet égard, il est intéressant de constater que la pointe maximale prévue en 2014 n'est pas si différente de celle de 2008.**

1.3.2 Un nouveau contexte réglementaire

Le choix d'une filière est contraint par des paramètres financiers, environnementaux et techniques. En général, le contexte réglementaire est conçu pour une comparaison équitable de chaque filière. Est-ce le cas actuellement? Dans son rapport de juin 2004, la Régie a fait sortir au grand jour le fait suivant : le nouveau contexte réglementaire a imposé un changement de paradigme par rapport à l'historique pour ce qui est du choix des filières. Cette structure déforme la planification coopérative par un système de concurrence qui profitent à la filière thermique. À preuves, mis à part les projets hydroélectriques proposés par HQP et la quote-part pour l'éolien, seuls les gaziers ont pu soumettre des projets répondant à tous les critères. Pire, à l'avenir comment bloquer un charbonnier qui propose un projet clef en main satisfaisant au plus bas coût et au service de puissance équivalente? En commandant des appels d'offre pour des incréments de demande selon deux critères, le coût minimum et la fiabilité du service en puissance, l'éolien et même la grande hydro ne peuvent donc convenir aux besoins futurs des québécois sans l'intervention du gouvernement.

Or historiquement, le thermique assigné à la demande de pointe ne représentait que 3,5% de la production. Une question de fond se pose :

- 5. Le cadre réglementaire actuel est-il bien adapté pour susciter l'émergence des sources d'énergie renouvelables comme la grande hydroélectricité et l'éolien? Chose certaine, à la lumière de l'expérience des dernières années, le gouvernement devrait revisiter les mécanismes de choix des filières et le rôle de chaque division d'Hydro-Québec.**

Tableau 1 Approvisionnements additionnels requis

(Scénario à 1 écart type du scénario moyen, en TWh)

	2005	2014
Besoins visés	182.2	198.6
Impact d'un aléa (1 écart type)	5	7.8
Besoins Totaux	187.2	206.4
Électricité patrimoniale	178.9	178.9
Besoins additionnels requis	8.8	27.8
Approvisionnements prévus		
TransCanada (Thermique)		4.1
Hydroélectricité	-	4.2
Contrats court terme	3	-
Biomasse		0.3
Cogénération		2.8
Éolien (Gaspésie)		3.2
Sous-total		14.6
% thermique : éolien inclus		49.3
% thermique : éolien non inclus		63.2
Autres approvisionnements		
Éolien 1000 MW supplémentaire		3.1
Autres besoins à couvrir		10.1
% Thermique possible		62.2

Source: HQD-3 (2004), page 38

2 LA CONTRIBUTION OPTIMALE DE L'ÉOLIEN AU QUÉBEC

2.1 COUPLAGE HYDRO-ÉOLIEN : LE POTENTIEL TECHNIQUE

Dans un système intégré hydro/éolien, l'énergie produite lorsque le vent est suffisant permet de réduire le débit dans les turbines, et donc d'économiser de l'eau qui pourra alors être exploitée au moment propice. L'intégration de parcs éoliens à un réseau hydroélectrique est également bien adaptée à cause de la complémentarité des énergies. Comme avantage, la distribution d'apport énergétique de l'éolien est mieux répartie dans le temps que celle des apports hydrauliques. (voir graphique 4). De plus, la variabilité saisonnière du vent semble globalement inférieure à celle de l'apport hydraulique².

D'autres points permettent de croire que l'apport éolien peut être positif pour la gestion du système Québec/Labrador. Au même titre qu'une centrale au fil de l'eau ou un détournement de rivière, l'éolien augmente la capacité énergétique globale, capacité utilisable pour faire des profits sur les marchés externes.

Cependant, deux questions de fond reviennent sans cesse :

- Afin de conserver la sécurité d'approvisionnement, jusqu'à quel point peut-on intégrer des MW d'éolien sans réinvestir massivement dans les équipements en place?
- Sur la base de principes technico-économiques reconnus, quelle pourrait être la contribution optimale de la production éolienne dans un parc de production d'électricité comme celui du Québec?

Pour la première question, soit l'intégration technique maximale sur un réseau donné, nos travaux combinés à ceux de plusieurs autres organismes permettent déjà de conclure sur les points suivants :

- 6. Le potentiel technique maximal est « système spécifique »; par exemple, l'étude du Vermont (Lafrance, Krau et coll.) a montré que pour chaque MW installé on pouvait ajouter un MW d'éolien; l'exemple du Danemark montre aussi que l'on peut mettre une capacité relativement importante d'énergie éolienne sur le**

² Peu d'études ont été faites sur le sujet. Kristin Larson (2004) l'a cependant observé pour l'ouest américain.

réseau; dans les deux cas, il faut ajouter qu'il s'agit de petits réseaux bien maillés à des systèmes de forte capacité; en outre, les règles du marché permettent de combler les déficits en puissance.

- 7. Pour le cas du Québec/Labrador, nos études montrent que l'énergie éolienne peut représenter au moins 10% de la capacité du système à l'horizon 2014 si certaines conditions sont respectées. C'est plus de 4000 MW d'énergie éolienne.**

Cette part du 10% a également été simulée pour l'État de New-York (GE Power systems Energy Consulting, 2004). Le NYPA est un système de la taille de celui du Québec et peut aussi compter sur plusieurs liens externes pour sa marge de manœuvre. Une étude toute récente faite pour le Minnesota (2004) va encore plus loin : la part de l'éolien pourrait atteindre 15% et son coût d'équilibrage serait aussi bas que 0,46 \$US.

D'un point de vue technique, peut-on dépasser le 10%? Sans doute. Aucune indication n'empêche un volume plus grand en terme de pourcentage de la capacité totale du système si le choix des prochaines filières (thermique ou autre) se fait en conséquence et si l'éolien est utilisé dans une stratégie globale d'échange avec les réseaux voisins (point discuté un peu plus tard). En chiffre qu'est-ce que cela signifie?

Le tableau 1 reproduit les approvisionnements prévus pour l'horizon 2014 pour les besoins internes du Québec. Déjà environ 2200 MW d'énergie éolienne seront en opération. Selon nos simulations, il serait possible de doubler cette capacité permettant ainsi de combler la demande supplémentaire pendant quelques années. Pour la suite des choses, il faut examiner de plus près la courbe de puissance classée et l'évolution de la demande. Mais comme la courbe tend à s'aplatir, les remarques R1 à R4 signifient que l'on peut aller plus loin avec l'éolien sans problème apparent de déficit en puissance. C'est sans compter que l'on a pas encore considéré les mesures de gestion de demande supplémentaire, ni les stratégies de surplus de capacité comme marge de manoeuvre.

Mais ce potentiel technique nous amène alors à la deuxième question : jusqu'où peut-on aller d'un point de vue économique? Répondre à cette question revient à comprendre les conditions d'exploitation du système.

2.2 LES CONDITIONS D'OPÉRATIONS OPTIMALES QUI AVANTAGENT L'ÉOLIEN

Les résultats de nos études pour le cas du Québec/Labrador et du Vermont montrent que: a) tout le système doit être géré de manière coopérative, b) les priorités sont spécifiées en fonction de l'intermittence de la ressource. Pour le premier cas, cela signifie une coopération totale des joueurs. Pour le deuxième point, cela signifie qu'il faut repenser complètement le système de planification moyen terme.

Nos travaux montrent aussi que la localisation optimale des sites éoliens doit se faire selon une approche systémique qui tient compte de la demande de charge par région, des contraintes de transport, des facilités de production selon leur qualité (pointe et hors pointe), du coût d'exploitation en temps réel, des capacités du marché à réagir ... et bien entendu la qualité de la ressource éolienne. Ce dernier point signifie clairement que la distribution des parcs sur le territoire diminue statistiquement la variabilité de l'énergie envoyée sur le réseau.

Que penser alors du choix de mettre 1000 MW d'éoliennes en Gaspésie au lieu d'une répartition sur l'ensemble du territoire? On comprend tous que ce choix est basé sur des considérations politiques et industriels, légitimes dans les circonstances. Mais d'un point de vue mathématique et systémique, force est d'admettre que ce projet de 1000 MW ne rencontre pas les critères d'intégration optimale sur le réseau. L'urgence de l'appel, l'absence de certains joueurs importants à l'étape initiale de la qualification des sites et le caractère déterministe du décret gouvernemental font que cette stratégie ne relève pas d'une approche rigoureuse et scientifique.

Il faudra certainement en tenir compte pour la suite des choses. Cette discussion sur les conditions optimales d'intégration de l'éolien dans le réseau Québec/Labrador nous amène aux trois conclusions suivantes :

- 8. Le prochain appel d'offre de 1000 MW d'éolienne exige une étape initiale d'analyse des meilleurs sites pour l'ensemble du territoire; une partie de ce travail sera compléter à l'hiver 2005; restera à compléter le côtier;**
- 9. La localisation optimale des parcs éoliens impose une étape initiale d'analyse systémique, avant les appels d'offre; nous référons à l'Annexe II pour les tâches**

spécifiques suggérées. Le système de planification moyen terme doit être repensé et doit se faire selon une approche coopérative des facteurs.

10. D'un point de vue strictement apport statistique des vents, les parcs doivent être répartis sur le territoire du Québec.

Il faut observer ici que les conditions énoncées s'appliquent aussi pour les nouveaux projets hydroélectriques. Une fois ces conditions remplies, reste la question de fond, posée dans le cadre de ce mandat: quelle est la contribution optimale de l'éolien?

2.3 CONTRIBUTION OPTIMALE DE L'ÉOLIEN AU QUÉBEC

La contribution optimale de l'éolien au Québec dépend de plusieurs facteurs et contraintes qui sont d'ordre physique (qualité du site), technique (possibilité d'intégration au réseau), environnemental, légal et économique. À long terme, l'éolien est une opportunité intéressante pour le Québec si son coût de production d'énergie et de gérance est compétitif par rapport aux alternatives. En sous-entendu, son choix dépendra du coût des alternatives.

Si on se base sur les tendances de gain de productivité dans l'industrie éolienne et sur les prix soumissionnés lors du dernier concours rendu public en octobre 2004, on peut prendre pour acquis que l'éolien deviendra compétitif sous peu.

Quelle est la contribution maximale de l'éolien? La question ne se pose plus à partir du moment où les conditions optimales de compétition sont réunies. Cela soulève cependant une question de fond sur le mode de déploiement de la filière : va-t-on continuer à l'encadrer par décret? En d'autres mots le cadre réglementaire est-il adéquat pour permettre ce jeu de compétition équitable pour l'éolien? Si on se fie à l'expérience des dernières années, la réponse est non. Sur une base purement légale, et sans décret, l'éolien est éliminé d'office pour les prochains appels d'offre. À cause des définitions de « produits de base », « produits cyclables », qui prévalent dans les appels d'offre, la contribution maximale de l'éolien pour les besoins du Québec sera strictement proportionnelle à la quantité décrétée par le gouvernement.

Pour soutenir l'émergence et le développement de l'éolien, quels sont les modèles de décision possibles :

- **Modèle 1** : le modèle actuel où l'acceptation du plan d'équipement d'Hydro-Québec est assumée par le gouvernement; la croissance de l'éolien est assurée par des décrets;
- **Modèle 2** : c'est le modèle prévu par la politique de 1996 : la Régie entérine le plan d'équipement d'HQP selon le principe de la planification des ressources; l'argumentation de l'époque reposait en grande partie sur le besoin d'avoir un organisme indépendant qui dépolitiserait les choix de filières.
- **Modèle 3** : en se basant sur nos simulations, les appels d'offre pour les besoins internes ne peuvent pas être du ressort exclusif d'HQD, cela repose sur le fait que la contrainte patrimoniale n'est pas gérée par HQD; en outre, on l'a montré, le développement optimal de l'éolien ou de centrales hydroéoliennes est indissociable des opérations d'Hydro-Québec en général et de la gestion des réservoirs en particulier.
- **Modèle 4** : ça peut être le marché lui-même qui impose le choix le meilleur, à la manière du NEPOOL; on rejoint alors l'autre préoccupation que nous avons énoncé sur le partage de risque au niveau des joueurs (ou de l'optimisation des apports incluant toutes les sources).

Si le Modèle 1 est conservé, la consultation auprès de quelques intervenants de l'industrie nous amène à la recommandation suivante :

- 11. Il est préférable de conserver le système de quota tant et aussi longtemps que les preuves n'auront pas été faites que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur par l'ensemble des intervenants.**

Reste une dernière question pour cette section: où tracer la ligne de concurrence pour les appels d'offre en éolien? L'expérience du dernier 1000 MW en Gaspésie a démontré l'intérêt de faire un concours ouvert, tout en incluant des objectifs de retombées régionales. Le prix est compétitif et de nouveaux joueurs sont apparus sur la scène énergétique québécoise.

- 12. Pour le prochain 1000 MW, il n'y a pas lieu de remettre en cause le modèle de concurrence, établi pour la Gaspésie; par contre, nous répétons que les conditions optimales de l'implantation de l'éolien imposent une étape initiale où**

tous les joueurs sont impliqués pour faire une analyse systémique. On qualifie avec le plus de rigueur possible les sites, puis les appels d'offre auprès du privé sont effectués.

13. Par ailleurs, on ne peut confier au seul secteur privé le soin de supporter les divers modèles de suivi de la performance. Pour l'ensemble des joueurs, il est donc impératif de faire certaines tâches de manière coordonnées. Parmi les plus urgentes, il faut consulter la liste proposée dans l'Annexe II.

2.4 Y A-T-IL ENCORE UNE PLACE POUR L'HYDROÉLECTRICITÉ?

La discussion sur la problématique de l'éolien et les conclusions que nous en avons tirées s'appliquent entièrement au cas de l'hydroélectricité. D'abord quand il s'agit de couplage hydro-éolien, les qualités des deux sources sont liées. Mais le nouveau contexte d'affaires combiné au fait que la demande croîtra moins rapidement que par le passé et qu'en outre l'éolien occupera une part non négligeable du portefeuille des ressources, oblige les décideurs à penser autrement pour le développement hydroélectrique aussi.

14. Dans un contexte où la réserve est gérée de façon plus serrée, et que les réservoirs multi-annuels ont des capacités de stockage suffisantes pour la gestion adéquate de l'énergie, il est clair qu'un nouvel ouvrage hydroélectrique ne se construit pas selon les anciennes spécifications : stockage pour faire face aux aléas d'hydraulicité faible pendant cinq ans et capacité de turbinage pour faire face à la demande de puissance classée interne de moyenne pointe.

Dans la suite de ce que nous avons discuté plus tôt pour la filière éolienne, tout nouveau ajout au réseau, ligne de transport et projet hydroélectrique y compris, doit être pensé selon une approche optimale de long terme. Par ailleurs, le jeu doit être fait pour que toutes les formes d'énergie aient une place au Québec, selon leur mérite économique et environnemental. N'empêche que la filière hydroélectrique souffre toujours d'une perception négative qu'il convient de corriger. Le gouvernement doit donc continuer à militer et à agir pour défendre la grande hydro.

Ce point nous amène à des politiques plus générales qui favorisent indirectement le développement de ces « grandes renouvelables » traitées dans ce chapitre. On se réfère ici à aux pratiques historiques suivantes :

- 15. Pour toutes sortes de raisons, la capacité du système Québec/Labrador a connu une surcapacité d'environ 10% en moyenne. Cela s'est avéré avantageux pour faire face aux aléas de demande et de faible hydraulité. Mais en plus, une telle pratique a permis le devancement d'ouvrage hydroélectrique; en attendant que l'équilibre avec la demande interne se fasse, une partie des installations a été payée par le marché externe. Pour toutes ces raisons, et sans entrer dans le débat des exportations, il est tout à fait judicieux de continuer une telle pratique, cela assure la sécurité d'approvisionnement tout en étant payant.**

Le Canada et le Québec se sont engagés à respecter le protocole de Kyoto, ce qui implique une démarche rigoureuse de comparaison des options. Or, la comparaison des coûts des tonnes évitées de gaz à effet de serre montre en général que le choix de renouvelable pour le secteur électrique est moins coûteux que les options à mettre en place pour les autres secteurs, dont le secteur des transports (voir rapports des tables de réflexion sur le changement climatique www.climateschanges.gc.ca). Les recommandations suivantes sont donc proposées.

- 16. Toute comparaison des options de production d'électricité dans le futur doit considérer le coût des tonnes évitées des gaz à effet de serre, tout secteur confondu.**
- 17. Dans le passé, le Québec a eu plusieurs politiques favorisant l'électrification. Dans le cadre des engagements de Kyoto, il est tout aussi approprié de supporter une électrification accrue, notamment dans le transport urbain. On fait alors une pierre deux coups : on réduit les gaz à effets de serre et on favorise des énergies renouvelables de qualité comme l'hydro et l'éolien.**

2.5 MOULINS À EAU OU MOULINS À VENT?

Attaquer l'une, c'est nuire à l'autre. En une phrase, le Québec doit prendre position pour les deux. Le sort de l'éolien est étroitement lié à celui de la grande hydraulique et vice-versa. Dans une approche optimale, l'éolien devient un moyen de valorisation de l'hydroélectricité et il est une forme de diversification des apports. Mais l'intégration de l'éolien nous oblige à penser autrement le mécanisme de choix énergétiques pour le futur. Cela s'applique aussi pour les nouveaux ouvrages hydrauliques.

Partie II

Les technologies émergentes

3 NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE

Les avenues les plus prometteuses pour soutenir l'émergence et le développement de nouvelles technologies de l'énergie sont d'abord liés à différents types d'incitatifs qui sont eux-mêmes déterminés par divers objectifs. Parmi les objectifs légitimes pour justifier des dépenses publiques, on peut citer : a) le développement des énergies renouvelables, b) le soutien pour les technologies de l'énergie qui semblent prometteuses pour l'économie, c) la réduction des impacts environnementaux liés à l'énergie, d) favoriser la compétitivité et la diversification de son industrie énergétique, e) assurer un support plus général à la formation et à la connaissance.

Le classement de ces incitatifs et objectifs par horizon permet ensuite de distinguer les supports de court terme (niveau de l'industrie et du consommateur), de moyen terme (équipes multidisciplinaires qui s'attaquent à l'augmentation de performance d'une technologie près de la maturité) et finalement de long terme (support aux équipes de R&D). Par ailleurs, la mise de fond public peut être induite par des objectifs normatifs, la ratification du protocole de Kyoto est un exemple.

3.1 LES TECHNOLOGIES OÙ LE QUÉBEC A EXERCÉ UN LEADERSHIP

Ces considérations nous amènent à présenter les renouvelables et les nouvelles technologies selon un ordre chronologique d'intérêt, du présent vers le futur lointain.

L'hydroélectricité

La filière hydroélectrique est déjà bien exploitée. Et Hydro-Québec a toujours la charge exclusive de développer les ouvrages de plus de 50 MW. Plusieurs organismes assurent la connaissance associée à son exploitation de court terme ou de long terme. En premier lieu l'IREQ a toujours un mandat de supporter la R&D pour l'entreprise. Mais il convient de signaler l'implication du groupe Ouranos et de plusieurs chercheurs québécois dans l'analyse de l'impact du changement climatique sur les activités d'Hydro-Québec.

Nous reviendrons plus loin sur ce support R&D de façon plus général. Pour ce qui est des recommandations à retenir pour le développement de l'hydroélectricité, tout a été dit dans la

première partie de ce document.

L'énergie éolienne

Comme nous l'avons expliqué dans la première section, le sort des grands parcs d'énergie éolienne est directement lié à celui du système électrique Québec/Labrador en général et de l'hydroélectricité en particulier. La première partie de ce document a donc couvert la plupart des mesures d'appui à l'émergence des grandes éoliennes. Rappelons qu'une approche collaborative de tous les intervenants, y compris d'Hydro-Québec, semble essentielle pour assurer le maximum de performance de cette filière au Québec. Cela implique aussi une approche concertée de R&D sur laquelle nous reviendrons plus loin.

Par ailleurs, il faut bien réaliser que toute l'attention porte actuellement sur les éoliennes de grande taille, et cela autant de la part des investisseurs que des personnes impliquées dans le domaine du développement. Que se passe-t-il avec les éoliennes de plus petite dimension? Doit-on supporter les développeurs et les chercheurs impliqués dans ce domaine?

Bien que nous soyons tous d'accord que ces petits systèmes n'auront pas un impact majeur sur le bilan énergétique du Québec, ils correspondent néanmoins à des besoins spécifiques et peuvent générer des impacts non négligeables localement, soit en terme d'emploi, soit en terme d'évolution des connaissances, soit en terme d'impact pour l'environnement.

Il convient donc de soutenir les actions pour le développement des éoliennes de plus petite taille. Nous verrons cependant que la stratégie est différente de celle proposée pour les grandes éoliennes. Si le support à la R&D est semblable dans sa forme, les stratégies de développement visent des décideurs différents : les incitatifs s'adressent au consommateur et à l'industrie, et non pas au niveau de la production et de l'exploitant du réseau.

Finalement, il convient de préciser que les divers incitatifs du gouvernement du Québec ont permis le démarrage de l'industrie éolienne au Québec. Au moment d'écrire ce texte, on peut affirmer que le Québec est un leader dans la plupart des domaines d'activité liés à l'éolien au Canada. Et dans certains secteurs comme celui des services et de la R&D, l'équipe du Québec se situe dans les meilleures au monde. Une question se pose alors : comment assurer que ce leadership continue pour les années à venir?

Le solaire et la géothermie

Deux types de technologies solaires risquent d'avoir un impact à l'avenir: le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. L'utilisation directe de l'énergie solaire reste cependant marginale par rapport aux autres systèmes énergétiques. Cette situation est liée à deux réalités différentes selon qu'il s'agit de l'une ou l'autre technologie.

Les systèmes solaires actifs dédiés au chauffage de l'eau et des locaux ont connu une certaine vogue au cours des années 1970 et 1980. Leur popularité a cependant décliné par la suite pour plusieurs raisons. Mais clairement, la baisse relative du prix des autres sources de chaleur a rendu ces systèmes moins attrayants pour les consommateurs individuels. Avec la montée du prix de l'énergie, les programmes de promotion devront à nouveau cibler le consommateur et l'industrie de construction. Dans la pratique, le soutien au solaire thermique est du ressort des intervenants qui oeuvrent dans le domaine de l'efficacité énergétique.

Le support à la géothermie se situe dans la même problématique que le solaire thermique: les procédés sont relativement connus et leur intérêt se situe également au niveau du consommateur et de l'industrie de la construction. D'ailleurs, dans le dernier programme d'efficacité présenté par Hydro-Québec, le 12 novembre 2004, la géothermie est incluse.

Les systèmes photovoltaïques (PV) ont l'avantage de n'avoir aucune pièce mobile et de pouvoir fonctionner sans aucun entretien pendant plusieurs années. Mais surtout, ils convertissent l'énergie solaire en électricité. Du coup, leur utilisation s'ouvre à de multiples usages. Ils conviennent donc parfaitement à l'alimentation électrique de sites isolés comme les relais de télécommunication, les phares et les bouées marines, les équipements de surveillance contre le feu, etc. On les a utilisés dans des systèmes de plus grande envergure pour le pompage de l'eau, pour la réfrigération de médicaments ou même pour l'éclairage.

N'empêche que ces applications font que l'industrie photovoltaïque mondiale est demeurée marginale par rapport aux autres filières d'énergie renouvelables. Les choses commencent à changer un peu cependant. Les estimés de croissance de la dernière décennie montrent que cette industrie énergétique croît rapidement ce qui laisse présager que cette filière suivra le chemin de l'éolien. C'est donc à suivre de près.

Pour le solaire photovoltaïque, la problématique est donc différente de celle du solaire thermique aux niveaux suivants : a) la production électrique peut être combinée au réseau; b) les applications sont plus variées; c) il s'agit d'une technologie qui fait encore partie de la table à dessin des développeurs et des chercheurs. Les incitatifs à mettre en place pour la promotion du solaire photovoltaïque sont donc multiples.

La biomasse et les carburants « dits verts ».

L'utilisation de la biomasse forestière ou de matière végétale pour la fabrication de carburant est souvent controversée. Il en est de même pour les centrales électriques qui fonctionnent grâce à la combustion de résidu de bois ou autre. Le mandat de ce document ne permet pas de discuter des diverses positions sur le sujet. Mais certaines actions en cours méritent d'être rappelées pour fins de discussion.

D'abord, il faut rappeler qu'Hydro-Québec a lancé un appel d'offre pour une centrale de biomasse de 100 MW et que le résultat a été annoncé en octobre dernier. À cet égard, la stratégie de développement de mini-centrales thermiques ayant comme source la biomasse est semblable à la problématique de l'éolien discutée dans la première partie. Parmi les questions posées, doit-on continuer à imposer des quotas? Ou laisser le marché faire son œuvre?

Rappelons que dans les régions froides, le bois, les résidus forestiers et les liqueurs récupérées dans les procédés de fabrication de pâtes de bois constituent les principales sources de biomasse. Jusqu'à maintenant, ces résidus ont été utilisés surtout pour la fabrication de vapeur pour les besoins industriels. Il faut savoir cependant que dans l'industrie des pâtes et papiers, le rapport du besoin de vapeur sur le besoin d'électricité est environ trois. Dans un contexte où le prix de l'électricité monte rapidement, il est donc à prévoir que la cogénération devient intéressante.

Outre la biomasse ligneuse et les résidus de la transformation du bois, les cultures énergétiques, les résidus agricoles, les déchets urbains solides, les boues d'épuration sont autant de sources pour la combustion ou pour la fabrication de bio-carburants. La biomasse est une source d'énergie polyvalente, dans la mesure où elle peut servir à produire de l'électricité, de la chaleur ou du combustible pour le transport, en fonction des besoins, et où elle peut être stockée au contraire de l'électricité, de manière simple et

à peu de frais. De plus la taille des unités de production peut varier fortement: on en rencontre de très petites et d'autres atteignant plusieurs MW. Tous ces avantages expliquent pourquoi la biomasse va continuer de représenter une part importante des énergies renouvelables à l'avenir. Ce n'est cependant pas toujours la panacée.

Si la récupération de biomasse résiduelle ou de tout autre déchet organique donne automatiquement un avantage économique à cette filière, la production directe de biomasse énergétique (graminées, plantes oléagineuses, etc.) se butte cependant à des problèmes de coûts élevés qui rend ces technologies difficilement compétitives face aux sources conventionnelles d'énergie. Les débouchés les plus connus sont la production d'éthanol à partir de culture spécialisée. Celles du Brésil sont connues depuis longtemps.

Mais un élément important vient de changer la donne : la ratification du protocole de Kyoto par le gouvernement du Canada. Que l'on soit d'accord ou pas avec la fabrication de ces carburants « dits verts », le programme canadien du changement climatique mise sur la consommation de l'éthanol, du biodiesel et d'autres carburants semblables pour atténuer l'impact du transport sur les gaz à effet de serre. Le Québec ne peut pas s'en désintéresser complètement, d'autant que la première usine d'éthanol est prévue pour la région de Varennes et qu'une usine de biodiesel verra le jour sur la Rive-Sud de Montréal vers 2006.

Il n'est pas inutile d'ajouter qu'un programme d'essais a été effectué sur l'intérêt du biodiesel comme additif dans les autobus de Montréal en 2002. Les résultats semblent concluants. À défaut d'avoir des politiques aussi agressives que dans l'éolien, le dossier « nouveaux carburants » est sûrement à suivre.

L'hydrogène et les véhicules électriques

Attention, disent les promoteurs du « tout électrique » pour le transport, il existe une filière qui possède les mêmes qualités que le pétrole. Et en plus, c'est une solution écologique par excellence. *Que des gouttes d'eau qui sortent par le tuyau d'échappement*, nous fait miroiter la publicité de GM en nous présentant sa Hy-wire, une Cadillac munie d'une pile à hydrogène. Même discours chez Ballard, cette compagnie canadienne qui fait rouler des autobus avec de l'hydrogène dans les rues de Vancouver depuis le début de la décennie 1990. « Le plein d'hydrogène, SVP ! » est-il à nos portes, lance Jean-Benoit

Nadeau dans le journal L'Actualité paru le 15 décembre 2003 ?

Tous n'affichent pas le même optimisme sur la venue prochaine de l'économie de l'hydrogène proposée par Jules Vernes. Mais peu d'intervenants sérieux ne contestent son intérêt de long terme. Premier problème de taille, l'hydrogène n'est pas une source d'énergie, c'est un vecteur. Comment est produit l'hydrogène ? Le procédé généralement envisagé est le « reformage » d'hydrocarbures, gaz, pétrole, méthanol, qui sont, le nom le dit, des chaînes plus ou moins complexes d'hydrogène et de carbone. Malheureusement, en se débarrassant du carbone, on crée presque autant d'émissions de dioxyde de carbone que dans un moteur à combustion.

Reste l'électrolyse de l'eau. Il suffit de soumettre une molécule d'eau (H₂O) à un voltage pour séparer l'hydrogène à l'oxygène. Sous un angle écologique, tout ne va pas si mal si la source initiale de production est une énergie renouvelable comme l'hydroélectricité. Cet argument a suffi pour financer plusieurs chercheurs québécois dans divers domaines qui touchent l'hydrogène : fabrication, stockage, piles à combustibles. Ces fonds venus de sources aussi diverses que le gouvernement, Hydro-Québec et l'académique a permis de constituer un groupe de chercheurs compétents. Une masse critique est déjà atteinte avec le regroupement des chercheurs de l'UQTR et de l'INRS.

La grande question qui se pose à ce moment-ci, pourra-t-on conserver cette masse critique si les fonds privés et institutionnels ne suivent pas? Pire les emplois créés grâce à ces recherches seront-ils conservés? Peut-on éviter de nouvelles expériences malheureuses comme celle de HPower? Dans le même ordre d'idées, comment assurer la survie des diverses filières qui ont résulté des projets de recherche de l'IREQ dans le domaine des accumulateurs, du stockage de l'hydrogène, du moteur-roue? Quelles leçons tirer de ces expériences qui ont vu le jour grâce à une vision des bâtisseurs des années 60 et 70?

La fusion

Il est intéressant d'observer que l'administration de Georges W. Bush a entériné la vision du DOE (Department of energy) : pour ce qui des axes prioritaires de recherche en énergie : le programme de fusion national et le projet ITER occupe la première place. L'Europe, le Japon, la Chine, La Corée, la Russie, ainsi que plusieurs pays de taille plus petite, abondent dans le même sens : le programme international de fusion symbolisé par la construction de

ITER ira de l'avant. D'ici quelques mois on devrait savoir si c'est le site de Cadarache en France qui est retenu ou plutôt celui du Japon. Chose certaine, les participants présumés sont déjà à la table de discussion. Bientôt le club sera privé.

Au Canada, on se souvient tous de l'expérience malheureuse du Tokamak de Varennes. En mettant fin au programme de fusion national, du coup le Québec perdait son leadership dans ce domaine de recherche. Il existe toujours un noyau de chercheurs québécois dans le domaine de la fusion. Un chercheur œuvre même au sein de l'équipe européenne responsable du design de la machine ITER. Ces chercheurs tentent de repartir un programme de fusion national en collaboration avec d'autres groupes canadiens. L'objectif de cette initiative est de pouvoir participer au programme ITER.

Il est donc suggérer que le Québec appui cette initiative, ce que les divers gouvernements ont fait historiquement.

3.2 LES FORMES USUELLES D'INCITATIF

À la lumière de ce que nous avons discuté, il est clair que les incitatifs pour susciter l'émergence d'une nouvelle technologie de l'énergie varieront selon l'état de maturité de cette technologie. De plus les formes de soutien ne sont pas exclusives. C'est l'effet cumulatif et combiné de plusieurs formes de soutien qui vont permettre l'émergence d'une nouvelle technologie de l'énergie. Cela signifie, par exemple, qu'il n'est pas suffisant de supporter un seul intervenant, l'industrie manufacturière par exemple, pour que l'innovation soit assurée.

Pour les besoins de ce document, nous avons résumé les différentes formes d'incitatifs en quatre grandes catégories: les soutiens monétaires en général, les mesures législatives, le support à la R&D et les programmes de type éducatif.

Les soutiens monétaires

Les soutiens monétaires peuvent prendre plusieurs formes. L'aide fiscale prend la forme de crédit d'impôt remboursable ou non remboursable. Les soutiens financiers prennent aussi la forme de subvention, d'aide à la production, de prêt garanti, etc. Pour le cas de l'industrie éolienne, les deux formes de soutien monétaires ont été proposées. Mais l'incitatif qui est en général privilégié en Amérique du Nord est l'aide à la production: pendant quelques

années, le temps que la technologie devienne compétitive, le gouvernement verse un montant par kWh produit. C'est une des politiques du gouvernement fédéral qui est à la base du programme pour supporter l'éolien.

Mesures législatives

Les mesures législatives sont multiples. Elles peuvent avoir un effet indirect sur la déploiement d'une technologie de l'énergie : par exemple le cadre réglementaire actuel semble peu adapté pour l'éolien. En contrepartie d'autres politiques viennent contrer les effets négatifs du mécanisme de choix standard : pour l'éolien, le gouvernement a imposé des blocs de 1000 MW sous forme de décrets. Cette politique imposant un bloc d'énergie (taille et prix) d'une filière spécifique à être acheté par les entreprises électriques porte le nom connu de *renewable portfolio standard* (RPS).

Dans le même ordre d'idée, cette politique peut prendre la forme d'un pourcentage, plutôt qu'un bloc fixe. L'objectif est alors multiple: tout en favorisant de nouvelles technologies, on veut aussi améliorer la part des renouvelables dans le bilan total. Ce mode est plus délicat à appliquer pour le cas de l'éolien au Québec puisque cette forme d'énergie entrerait alors en compétition avec une autre grande renouvelable : l'hydroélectricité.

Toujours dans le secteur électrique, une mesure législative peut garantir à de petits producteurs autonomes de revendre leur production excédentaire (*net metering*). Les frais accordés à ces petits producteurs, via des compteurs inversés, doivent comptabiliser le coût de gestion de l'exploitant du réseau. Une mesure plus drastique vise à favoriser la production autonome de la part de producteurs de plus grande envergure. C'est l'idée du PURPA élaboré aux États-Unis en 1978 ou des formules de tarification inverse qui sont apparues depuis, notamment au Danemark pour la production éolienne.

Dans cette catégorie de mesure législative, il ne faut pas oublier les taxes diverses qui visent à décourager la consommation de combustible : taxes sur l'essence, taxe sur le carbone, etc. Mais ce type de mesure ne cible pas une technologie efficace en particulier.

Pour résumer cette section, deux mesures sont à considérer par le Québec pour les systèmes distribués, incluant l'éolien et le PV : les compteurs inversés, la tarification inverse.

Support à la R&D

Le développement des technologies des énergies renouvelables requiert un soutien à tous les niveaux, de la recherche en passant par la démonstration jusqu'à la commercialisation. Historiquement, le Québec a contribué à la R&D énergétique en établissant les priorités suivantes :

- La création de laboratoires industriels, dont le plus important est l'IREQ en 1969;
- La création de départements universitaires spécialisés en énergie : INRS-Énergie en 1969, le GREEN (université Laval) et le GERAD (HEC, Poly, McGill) dans les années 70, le centre d'hydrogène de l'UQTR, et bien d'autres.
- La mise en place de programme d'aide au développement des technologies de l'énergie : le programme PADTE du MRNFP établi en 1991 est le plus renommé.

Les programmes de type éducatif

Comme pour les programmes d'efficacité en général, les activités d'éducation et de conscientisation sociale sont des éléments essentiels dans tout programme de développement d'une nouvelle technologie de l'énergie. En fin de compte, le développement d'une technologie quelque soit son mérite économique et technique dépend de son acceptabilité auprès du public. Certains programmes sont donc mis sur pied à titre d'éducation et de conscientisation sociale. Dans la suite des choses, ces programmes peuvent inclure une liste de mesures volontaires. Citons comme exemple, le programme fédéral du changement climatique, basé sur des programmes de type volontaire pour le bâtiment.

Par ailleurs, pour des technologies qui sont en voie d'être matures, des programmes de formation peuvent être mis en place pour former la main d'œuvre. Cela correspond d'ailleurs à une requête de l'industrie éolienne. Qu'on ne se trompe pas cependant, tous ces programmes de type éducatif, s'ils ne sont pas combinés à d'autres types d'action, ont des impacts limités sur le rythme de diffusion des technologies.

3.3 LES MESURES SUGGÉRÉES

3.3.1 Les soutiens financiers et politiques

Le tableau 2 schématise les principales recommandations pour ce qui est des incitatifs à mettre en place pour susciter l'émergence de nouvelles technologies de l'énergie. Ces

incitatifs apparaissent en deux grands groupes : les mesures visant à la diffusion de technologies proches de la maturité et le soutien plus général à l'augmentation de la connaissance et de l'expertise.

Dans les technologies qui sont proches de la maturité, il faut bien sûr distinguer les grandes renouvelables des autres. Le détail pour ces grandes renouvelables est bien documenté dans la première partie.

Pour les technologies de plus petites tailles, les mesures de soutien financier suggérées sont de trois ordres :

- a) Soutiens via des programmes gouvernementaux : programmes éducatifs et d'efficacité, crédits à la production;
- b) Mesures législatives : RPS, compteurs inversés, tarification inverse;
- c) Supports à la R&D.

Dans tous les cas de figures, il est suggéré de fonctionner en partenariat avec Ottawa.

3.3.2 La revalorisation de la R&D énergétique

Grâce à un soutien de première heure dans la R&D, le Québec a exercé un leadership dans un grand nombre de domaines liés aux nouvelles technologies énergétiques du futur. Bien souvent les fonds démarrage ont été minimes. Mais ils ont suffi à constituer des expertises de haut niveau tant au national et qu'à l'international. Nul doute que le PADTE, par exemple, a donné naissance à des firmes comme Hélimax ou GPco dans le secteur privé ou à des équipes comme la nôtre dans l'académique.

Si l'auteur peut parler aujourd'hui de couplage hydro-éolien ou de méthode de cartographie du potentiel éolien, c'est grâce à ces incitatifs de départ. Si des chercheurs québécois ont été leaders en hydrogène, dans les piles à combustibles, en pile ACEP, en voiture électrique, en modélisation, en fusion ... c'est qu'ils ont été engagés pour faire de la recherche en énergie. Et ce succès est dû à la vision des bâtisseurs de la fin des années 60 et 70 qui ont proposé de financer des centres de recherche en énergie et qui ont établi des priorités en ce sens.

Bref, reconnaître l'ingéniosité québécoise dans le domaine de l'énergie, c'est admettre que les priorités de tous les acteurs ont été établies dans ce sens, que ce soit dans l'industrie, l'académique, l'institutionnel ou autre. Le dernier succès en liste est bien entendu le

démarrage de l'industrie éolienne. Il faut souligner ici la vision cohérente des gouvernements successifs qui par leur support ont permis l'émergence d'équipes de niveau international dans tous les milieux.

Une question se pose : le Québec est-il toujours positionné, d'une part pour assurer son leadership actuel, de l'autre pour permettre l'émergence de nouvelles idées dans le domaine des renouvelables et des nouvelles technologies de l'énergie?

En pratique, les chiffres sont plutôt préoccupants, et cela au niveau de tous acteurs :

a) Selon les chiffres fournis par l'Agence Internationale de l'Énergie (2003), les fonds publics accordés à la R&D énergétique ont baissé de 15% entre 1990 et 1999.

b) Par ailleurs, entre 1991 et 2003, le MRNFP a soutenu financièrement la réalisation de plus de 290 projets touchant principalement les énergies renouvelables par le biais du Programme d'aide au développement des technologies de l'énergie (PADTE). Ce programme était unique au Canada et a été au coeur du leadership du Québec dans plusieurs domaines, dont l'éolien. Depuis 2003, aucun engagement nouveau n'a été pris pour ce programme.

c) Les effectifs³ de l'IREQ ont baissé de 30% depuis 1991. Alors que le chiffre d'affaire d'Hydro-Québec a augmenté considérablement, les sommes accordées à la R&D en termes réels ont baissé de plus de 35%. Pire encore, depuis quelques années, l'IREQ ne donne plus de nouvelles sommes aux chercheurs universitaires pour des projets type « CRSNG-industrie ». À sa défense, l'administration peut invoquer la rationalisation de ces activités : le mandat plus large de 1969 où l'IREQ devait s'intéresser à toute nouvelle forme de production et de transport et d'utilisation de l'électricité a été fortement réduit; l'opération peut se justifier, mais le Québec a perdu au change.

d) Dans l'académique, les effectifs oeuvrant dans le secteur énergétique sont en chute libre, tous les chercheurs engagés dans la première heure dans le secteur énergétique partent les uns après les autres, sans remplacement. Clairement, le présent n'a rien de prévu pour préparer l'avenir en termes de formation et d'expertise de R&D dans le

³ Calculé à partir des rapports annuels.

domaine énergétique. Pour le programme de chaires du Canada, par exemple, à ma connaissance, une seule est allée au domaine de l'énergie.

Cette baisse de priorité en R&D énergétique n'est pas étrangère au contexte énergétique mondial qui a suivi le contre-choc pétrolier de 1985. Opportunistes, les institutions ont axé les priorités de la R&D et de la formation sur des créneaux plus vendeurs. Qui n'a pas entendu parler de l'importance d'investir en environnement à la fin des années 80, dans les TIC à la fin des années 90, et aujourd'hui dans la nanoscience ... et les sciences politiques? Sans surprises, la relève dans les départements universitaires est teintée par ces modes de l'heure.

Comment remédier à la situation? D'abord par une prise de conscience du problème. Pour la communauté scientifique en particulier, cette réflexion prend la forme d'un appel à la mobilisation en faveur d'une recherche stratégique dans le secteur énergétique. Pour Hydro-Québec, nous reprenons la recommandation de la Table de consultation du débat public sur l'énergie (1996) qui recommandait qu'Hydro-Québec consacre des sommes suffisantes à la recherche et à la connaissance dans les domaines prioritaires du Québec : électricité bien sûr, mais également technologie émergente comme l'éolien.

Par ailleurs, il est hors de question de faire la bataille au niveau de chaque institution. La seule façon de relancer l'intérêt pour la recherche et la formation en énergie, c'est de favoriser à nouveau une synergie entre les différents acteurs et d'inciter chaque institution à remettre à l'ordre du jour une priorité à l'énergie.

- Attendu que les succès passés du Québec ont été réalisés grâce à des efforts mis en commun venant de divers milieux : gouvernementaux, académiques, privés et parapublics,
- Attendu que chaque institution est en réflexion sur le rôle de la R&D énergétique dans son sein; mais qu'aucune de ces institutions ne peut ou ne veut assumer seule le leadership du support à la R&D énergétique dans son ensemble,
- Une nouvelle approche est proposée; c'est la création d'un centre de support à la R&D énergétique (CSRED).

Plusieurs modèles sont possibles pour la programmation et le financement d'un tel centre. Il peut s'agir d'un fond « hors budget gouvernemental ». Pour des « task forces » dans certains

domaines, celui de l'hydrogène, par exemple, les sommes peuvent venir du privé et couplées aux programmes académiques standards. À titre d'exemple⁴, le «Connecticut Clean Energy Fund » (CCEF) consacre des sommes appréciables au développement de nouvelles formes d'énergie et des technologies de l'hydrogène en particulier. Le budget provient d'une « surcharge » payée par les consommateurs d'énergie au Connecticut. De même, le New York State Research and Development Authority (NYSERDA), avec qui le gouvernement du Québec est à établir des liens de coopération, fait appel à un tel fond. Disposant de revenus de l'ordre de 200 M\$ par année, le NYSERDA reçoit aussi ses fonds d'une surcharge payée (1,4 mill/kWh) par les utilisateurs d'électricité.

Au Québec deux modèles sont à examiner de près : celui de l'Agence d'efficacité et du groupe Ouranos (www.ouranos.ca). L'Agence d'efficacité, créée au même moment que la Régie de l'énergie, est financée principalement par des fonds provenant de distributeurs d'énergie. Cette formule serait probablement limitée pour un CSRED.

L'exemple d'Ouranos donne une bonne idée du fonctionnement possible d'une équipe multidisciplinaire dans un futur CSRED. Ouranos a pour objectif principal de comprendre les impacts du changement climatique pour le Québec et d'examiner les scénarios d'adaptation. Ce groupe est composé de professionnels et de chercheurs provenant des milieux gouvernementaux, d'Hydro-Québec et du secteur universitaire. Un conseil d'administration assure que la programmation de recherche est cohérente avec la mission définie initialement. La structure de gestion est très légère pour assurer la mobilité des priorités.

Par ailleurs, il faut faire remarquer que les fonds académiques venant du CRSNG, du FQRNT ou d'ailleurs sont couplés pour les aspects formation. Ce modèle ne couvre sûrement pas toute la mission du PADTE, par exemple, ou de l'IREQ de 1969. Mais c'est un bon point de départ pour une réflexion sur une nouvelle formule qui raccrocherait tous les intervenants du secteur énergétique. En termes de programmation de recherche, un tel centre devrait considérer deux types de priorités : a) des projets stratégiques à horizon définis; b) des projets exploratoires pour des horizons plus lointains.

⁴ Source MRNFP.

Tableau 2 Liste de mesures à envisager pour le soutien aux nouvelles technologies de l'énergie

Technologie	Thème	Mesures à envisager
Hydroélectricité :	Nouvel ouvrage Politique Environnement R&D	Prise en compte du nouveau contexte d'affaires Considération des centrales hydroéoliennes Révision du cadre légal Militer pour son développement Contexte de Kyoto est considéré dans le mécanisme de choix Révision du rôle de la R&D chez HQ Support à Ouranos
Grandes éoliennes	Prochain 1000 MW Suite du développement Politique Environnement Soutien R&D	Liste de suggestions en Annexe II Examiner le mode de soutien : RPS, révision du cadre légal, incitatif à la production Partenariat avec Ottawa, support industriel viable Contexte de Kyoto est considéré dans le mécanisme de choix Programme éducatif Création d'un CSRED
Micro-centrales (éolien et PV)	Soutien législatif R&D	Tarifification inverse, compteurs inversés, programme éducatif Création d'un CSRED
Carburants verts	Politique	Arrimage avec Ottawa
Technologies efficaces	Solaire, géothermie R&D	Programme de soutien financier via les programmes d'efficacité Création d'un CSRED
Technologie d'avenir Hydrogène, électrification, etc.	Politique et R&D Formation académique	Création d'un CSRED Support aux industries existantes Support de la communauté scientifique pour mettre une priorité de recherche et formation en énergie (ça vaut pour les autres thèmes)
Fusion	Programme canadien	Support aux efforts universitaires de mettre en place une équipe canadienne en fusion : Québec et communauté universitaire

RÉFÉRENCES

1. E. Bertho, G. Lafrance, (1998) *Le couplage Hydro-éolien au Québec et au Labrador*, La Revue de l'Énergie, no 501 nov., 579-586.
2. Choissnard J., Lafrance G., Bernier M. (2004), "Benefits of SAR-Satellite Wind Scenes for Coastal Wind Resource Assessment", *Journal of Wind Engineering*, vol 28 (4).
3. Choissnard J., Bernier M., Lafrance G. (2004), "Cartographie des vents dans le golfe du St-Laurent à l'aide de l'imagerie RADARSAT-1", *Can. J. of Rem. Sen.*, Vol 30 (4), Août 2004, pp. 604-616.
4. Choissnard, J., G. Lafrance, M. Bernier (2004), *Développement des techniques spatiales de cartographie du potentiel éolien offshore et côtier par imagerie RADARSAT* Revue Vertigo, numéro spécial, juin .
5. DOE, note sur la fusion, (2003)
http://energy.gov/engine/content.do?PUBLIC_ID=14440&BT_CODE=PR_PRESSRELEASES&TT_CODE=PRESSRELEASE
6. Environnement Canada, Travaux du groupe de Robert Benoit sur le potentiel éolien, dont l'atlas éolien du Canada, www.altaseolien.ca.
7. Forcione, A. Krau S., Lafrance G., Saulnier, B. (2004) *Large scale integration of wind power in a hydro system*, Conférence Canwea, Montréal, 19 octobre, www.canwea.ca.
8. GE Power Systems Energy Consulting, (2004), *The effects of integrating wind power on transmission system planning, reliability and operations*, prepared for The New-York State Authority, Jan, http://www.dps.state.ny.us/Phase_1_Draft_Report_1-8-04.pdf.
9. Hélimax Énergie, plusieurs travaux dont la carte de potentiel faite pour la Régie de l'énergie: (www.helimax.com).
10. Hydro-Québec, Plan d'approvisionnement 2005-2014, Déposé à la Régie le 1^{er} nov. 2004, www.regie-energie.gc.ca.
11. S. Krau, G. Lafrance, B. Saulnier, J. Cohen, (2003) *Integrating the Energy Markets in North-America : Conditions Helping Large-scale Integration of Wind Power?* IAEE/USAEE, Mexico, oct 19, www.iaee.org.
12. International Energy Agency (2003), Governmental budget for energy technology R&D, chiffres annuels.
13. INRS-GAME/Hélimax, (2000) *Optimisation du couple hydro/éolien au Québec*, Rapport synthèse, MRN, mars.
14. Lafrance, G. (2002), *Boulimie Énergétique: suicide de l'humanité?*, Éditions Multimondes, www.mutlim.com.
15. G. Lafrance, L. Lafond, C. Jacques (2002), *Reservoir management with wind energy: the modelling approach*, Decision and Control in Management Science, Klumer Academic Publishers, ISBN 0-7923-7937-3. (chapitre de livre).
16. G. Lafrance, S. Krau, B. Saulnier (IREQ) and all, *Assessment of the impact of wind power penetration on the Vermont electricity grid A contribution to DOE DE-PS01-00EE10722 "Wind and Biomass Integration Scenarios in Vermont"* under management of Princeton Energy Resources International (PERI), Vermont, December 2002.
17. Larson, Kristin, (2004), *Wind Energy Forecasting: Is it Predictable?* Conférence Canwea oct 2004, www.canwea.ca, www.3tiergroup.com.
18. Ministère des Ressources Naturelles de la Faune et des Parcs, (2003) *PADTE, analyse des aides accordées et examen du fonctionnement du programme*, www.mrnfp.gouv.qc.ca.
19. Minnesota study (2004), www.state.mn.us/cgi-bin/portal/mn/jsp/content.do?contentid=536904447&contenttype=EDITORIAL&hpaged=true&agency=Commerce.
20. La Régie de l'énergie, *Avis technique sur le projet Le Suroît*, 5 juillet 2004, www.regie-energie.gc.ca.
21. Table de consultation du débat public sur l'énergie (1996), *Pour un Québec efficace*, Débat public sur l'énergie, ISBN-550-25869-X.

ANNEXE I : LE CONTEXTE POLITIQUE LIÉ À CE MANDAT

Dès le début de 2004, le gouvernement a entrepris un certain nombre d'actions afin de prendre des décisions éclairées en vue de l'élaboration d'une nouvelle stratégie énergétique. Afin d'alimenter ce débat public et apporter un éclairage nouveau sur les véritables impacts découlant des décisions relatives à la sécurité et à l'avenir énergétique du Québec, le gouvernement a sollicité l'opinion d'experts sur certaines questions techniques et délicates. Le gouvernement souhaite que les contraintes réelles, les possibilités et les défis en matière énergétiques soient démontrés et diffusés. Ainsi, les intervenants intéressés pourront mieux cerner l'ensemble du portrait énergétique actuel du Québec, mettre en relief les principaux enjeux et se faire une opinion à l'égard d'un certain nombre de questions auxquelles la stratégie énergétique devra répondre. Ce document fait partie de la banque de rapports techniques demandés par le gouvernement.

Pour situer le processus actuel, il est utile de rappeler quelques événements de l'année 2004. Devant la contestation populaire du projet du Suroît, le gouvernement a confié à la Régie de l'énergie d'émettre un avis portant sur la sécurité énergétique des Québécois à l'égard des approvisionnements électriques et la contribution du projet du Suroît. Cet avis, daté du 30 juin 2004, ayant comme appui un grand nombre de mémoires, a fait ressortir clairement que la Politique énergétique de 1996 avait besoin d'une mise à jour. D'une part la situation relativement précaire avec laquelle Hydro-Québec Distribution pourrait se retrouver d'ici 2011 imposait une réflexion urgente sur la sécurité énergétique. D'autre part, le contexte énergétique avait évolué considérablement, tant au niveau du contexte d'affaire, qu'au niveau technologique, social, environnemental et politique. Parmi les événements marquants listés dans le tableau 1, signalons la déréglementation dans le secteur électrique en 1997, l'instauration de la loi 116 en 2001, la ratification du protocole de Kyoto en 2003 et la montée de l'éolien.

Grâce à plusieurs travaux scientifiques et à l'information continue de plusieurs groupes d'intérêt, la Régie a notamment reconnu l'énergie éolienne comme une forme d'énergie renouvelable qui peut compléter de façon intéressante la production hydroélectrique. L'intérêt de cette source d'énergie a également été reconnu par le gouvernement du Québec qui a publié, en mars 2003, le Règlement sur l'énergie éolienne et sur l'énergie produite à partir de la biomasse. Ce règlement oblige Hydro-Québec Distribution (HQD) à acheter de l'énergie éolienne produite au Québec à partir d'une capacité installée

de 1000 MW. Les soumissionnaires retenus ont été dévoilés le 11 octobre dernier.

Le 5 juillet dernier, le gouvernement du Québec a également annoncé qu'il entend accroître, de façon substantielle, et dans les meilleurs délais, la capacité de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne. Le gouvernement a ainsi demandé à Hydro-Québec d'acquérir, le plus rapidement possible, 1000 MW d'énergie éolienne supplémentaire, ce qui porte à 2000 MW la puissance installée exigée par le gouvernement dans le cadre du développement de la production éolienne au Québec.

Suite à toutes ces annonces, plusieurs questions sont donc posées sur la contribution de l'énergie éolienne au Québec ainsi que sur le support du gouvernement pour cette forme d'énergie, à court, moyen et long terme. Ces questions constituent une partie de notre mandat.

Le cadre réglementaire

La politique énergétique de 1996 visait, entre autres, à tirer parti du potentiel de vente sur les marchés du nord-est américain. Afin de réaliser plus efficacement cet objectif, le gouvernement du Québec a édicté, en juin 2000, la Loi 116 modifiant la Loi sur la Régie de l'énergie et d'autres dispositions législatives. Cette législation a également introduit une concurrence dans l'approvisionnement des besoins futurs en électricité⁵.

La Loi 116 est venu finaliser la séparation fonctionnelle des activités de production, de transport et de distribution d'électricité chez Hydro-Québec. Trois divisions principales ont ainsi vu le jour : Hydro-Québec Production, Hydro-Québec TransÉnergie et Hydro-Québec Distribution.

La Loi 116 a aussi introduit le concept de volume d'électricité patrimoniale (165 TWh) dédié à l'approvisionnement des marchés québécois. Ce volume d'électricité patrimoniale est fourni par Hydro-Québec Production à Hydro-Québec Distribution. Il est important de préciser que la consommation des Québécois a maintenant atteint le volume d'électricité patrimoniale et que la satisfaction des besoins supplémentaires se fera au prix du marché.

Par ailleurs, le distributeur d'électricité doit préparer tous les trois ans – avec une mise à jour annuelle – un plan d'approvisionnement sur un horizon de dix ans indiquant les moyens qui seront déployés pour répondre à la demande, après avoir tenu compte des mesures d'efficacité énergétique. Au-delà de ce volume d'électricité patrimoniale, Hydro-Québec Distribution doit lancer des appels d'offres pour

⁵ Hydro-Québec a toutefois l'exclusivité de la production hydroélectrique pour les centrales d'une puissance de plus de 50 MW.

répondre aux nouveaux besoins des marchés québécois.

ANNEXE II : ENJEUX SPÉCIFIQUES POUR L'ÉOLIEN

Cette section donne un aperçu sommaire des enjeux qui vont permettre à l'ensemble des intervenants de bénéficier au maximum de l'apport éolien. Il s'agit en fait d'études spécifiques à faire, soit par l'ensemble des intervenants incluant les exploitants de réseau, soit par ces derniers seuls. Il est à noter que plusieurs de ces études nécessiteront le partage de données fines d'exploitation de ces divers intervenants, ce qui n'est pas prévu dans le contexte actuel. Ces travaux sont proposés par ordre chronologique d'occurrence.

Travaux de court terme (1 à 2 ans)

Enjeux pour l'ensemble des intervenants

- a) Finalisation de la cartographie du potentiel physique de l'éolien au Québec : avec les appels d'offre en cours, l'approche méso-échelle couplée à des analyses de terrain permettra d'avoir une carte terrestre relativement précise à près de 200 mètres. Restera à compléter la partie maritime et côtière, notamment sur tout le Saint-Laurent et à la Baie-James;
- b) Caractérisation des sites potentiels selon : la qualité du vent, le coût de branchement, le coût d'installation;
- c) Détermination des meilleurs sites selon une analyse systémique;
- d) Émission d'un appel d'offres de 1000 MW pour un certain nombre de sites privilégiés et finalisation des analyses de site à un niveau micro.

Enjeux spécifiques pour les exploitants du réseau

Il faut étudier divers scénarios d'intégration de l'éolien (pénétration ou puissance installée, dispersion géographique). Sur horizon d'exploitation court/moyen terme, analyse de variance de l'apport éolien seul et combiné à la demande, analyse d'exploitabilité (fiabilité, efficacité, niveaux de risque), calcul du coût d'opportunité résultant des effets induits par cette variabilité supplémentaire et calcul de la valeur ajoutée du couplage hydro-éolien en termes d'opportunité; sur horizon d'exploitation long terme, analyse de variance de l'apport éolien seul et combiné aux aléas multi-annuels d'apport hydraulique. En somme, on veut déterminer si l'éolien en production de base a pour l'exploitant une valeur ou à l'inverse

un coût d'adaptation pour l'ensemble des équipements du système.

Pour le premier 1000 MW, Hydro-Québec propose un prix de 0.9 ¢/kWh produit pour son service dit *d'équilibrage*. Pour le prochain 1000 MW, une nouvelle analyse s'impose pour valider ou modifier ce chiffre.

Travaux de moyen et long terme

Enjeux pour l'ensemble des intervenants

- Études de la performance des parcs existants;
- Raffinements des modèles, logiciels et mécanismes de prévision des apports éoliens et mise en place des structures permettant leur intégration aux processus d'exploitation actuels;
- Revue des stratégies de localisation pour les prochains sites.

Enjeux spécifiques pour les exploitants de réseaux

- a) Leçons du premier bloc de MW : révision du calcul du coût d'exploitation, raffinement des outils d'exploitation et de prévision;
- b) Besoin d'approvisionnement pour l'horizon 2012 et plus : analyse des filières selon une approche systémique; classement préliminaire selon leurs avantages économiques, techniques et environnementaux; proposition d'un plan de développement de long terme.

Pour avoir plus de détails, nous suggérons de consulter la référence (Forcione et coll., Oct. 2004).

ANNEXE III CARTES DU POTENTIEL ÉOLIEN : QUÉBEC

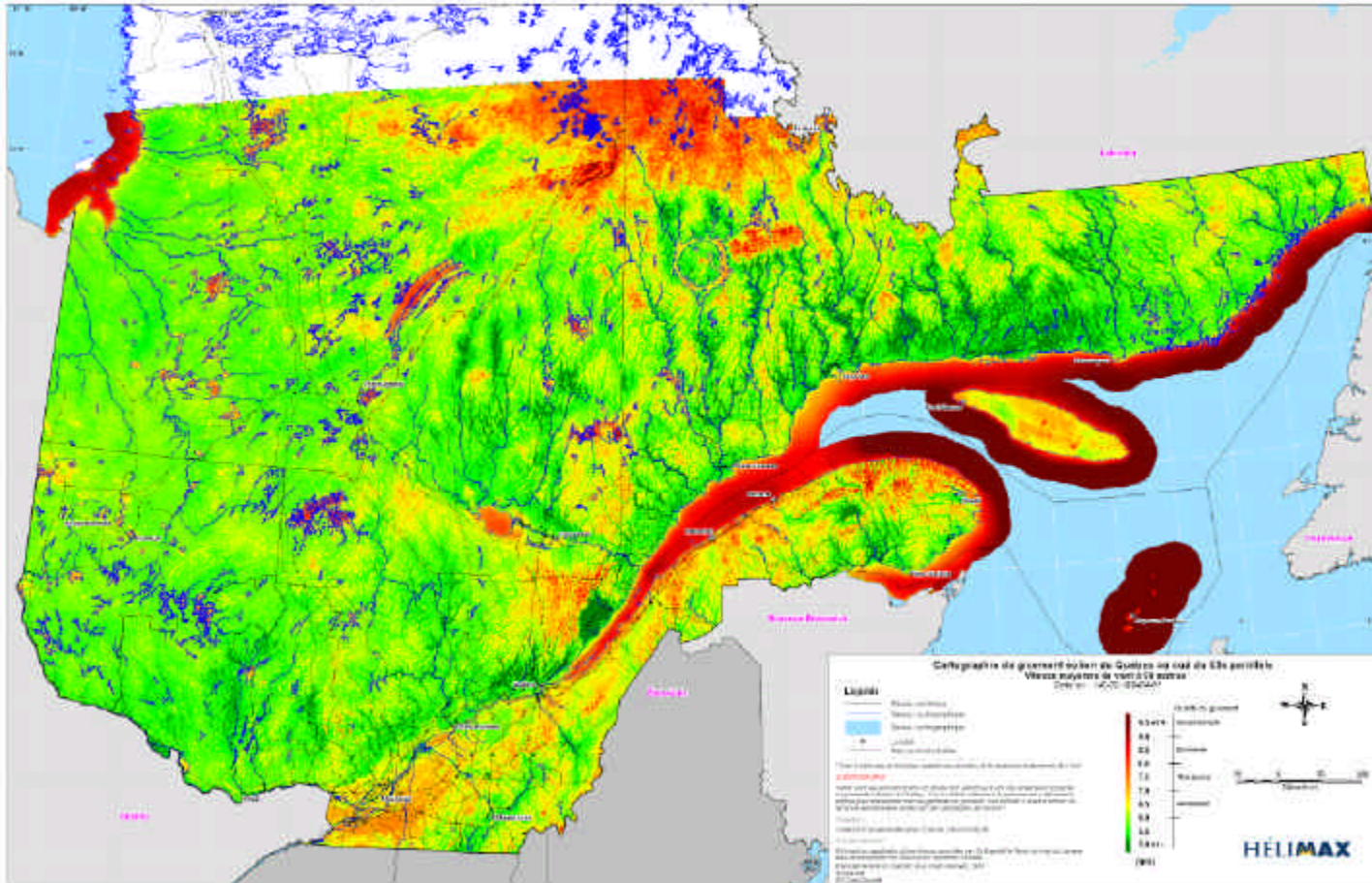
Il faut examiner les différentes approches d'estimation du vent en fonction de leurs objectifs. Ces méthodes peuvent être classifiées en plusieurs catégories allant de la macro-échelle à la micro-échelle. Au niveau micro, les mesures directes du vent par anémomètre sont précises. On peut ainsi compter sur trois sources de données : Environnement Canada (EC) gère un parc important de mâts de mesure depuis plus de 50 ans, le Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRN) a mis en place un programme important de mesure des vents, principalement en Gaspésie, à des fins de cartographie du potentiel éolien, finalement des parcs d'éoliennes sont gérés par des firmes privées. Mais cartographier un territoire par des mâts de mesure est coûteux et l'aspect souvent aléatoire des points de mesure couplé à l'absence de corrélation entre les différents mâts de mesure ne permet pas une cartographie fiable sur un grand territoire.

À l'autre bout de l'échelle, il existe plusieurs grands modèles de prévision météorologique utilisés à l'échelle globale et régionale pour la prévision du temps. Deux exemples sont donnés dans cette annexe. Le grand défaut de ces modèles se situe dans l'extrapolation des estimés à haute altitude vers le sol. Pour le milieu côtier et maritime, ils sont plutôt faibles, étant incapables de tenir compte de la rugosité sur l'eau. L'objectif des méthodes intermédiaires, comme celle développée à l'INRS à partir des données de vent extraites sur plan d'eau par imagerie RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) du satellite canadien RADARSAT-1, est de compléter les approches micro et macro pour la cartographie du vent en milieu côtier (voir les références Choissard et coll.).

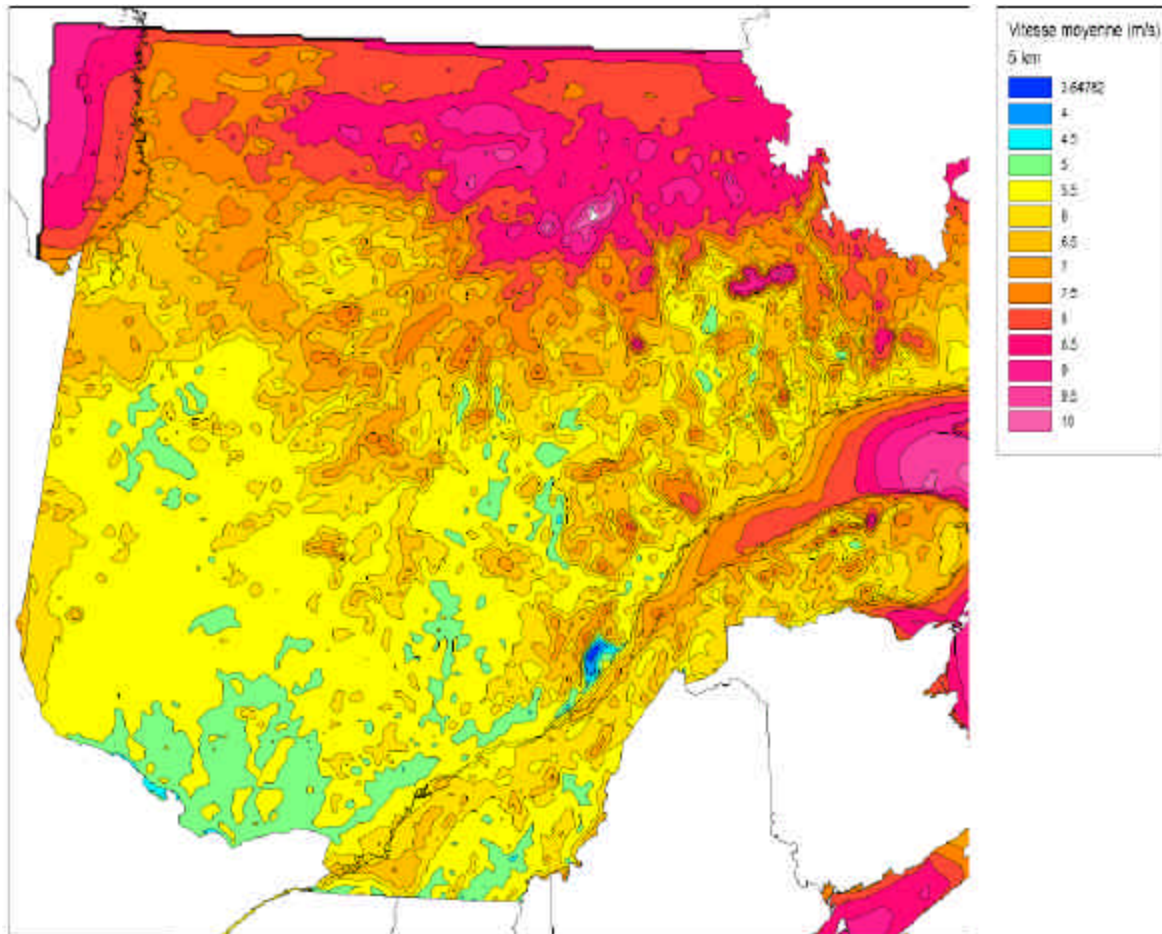
Comme on le peut le voir dans les images qui couvrent le golfe Saint-Laurent, l'approche RSO permet d'analyser les patterns de vents et même de déterminer des trous de vents et des zones de turbulence comme à Cap-Chat par exemple. Afin de bien déterminer les nouveaux sites potentiels pour les futurs parcs éoliens, il serait donc souhaitable de faire des analyses préliminaires de type RSO. D'un point de vue scientifique, il est bon de souligner qu'il peut être dangereux de s'appuyer sur une seule approche pour cartographier le potentiel éolien au Québec. Or, bien que les offreurs tentent de réduire les incertitudes au niveau terrain, et cela à partir d'une histoire très courte, en gros les cartes de potentiel du Québec repose sur une seule approche : l'approche méso-échelle. Dans le même ordre d'idées, toute analyse qui se veut rigoureuse dans ce domaine exige un temps minimum de travail et de collecte de

données.

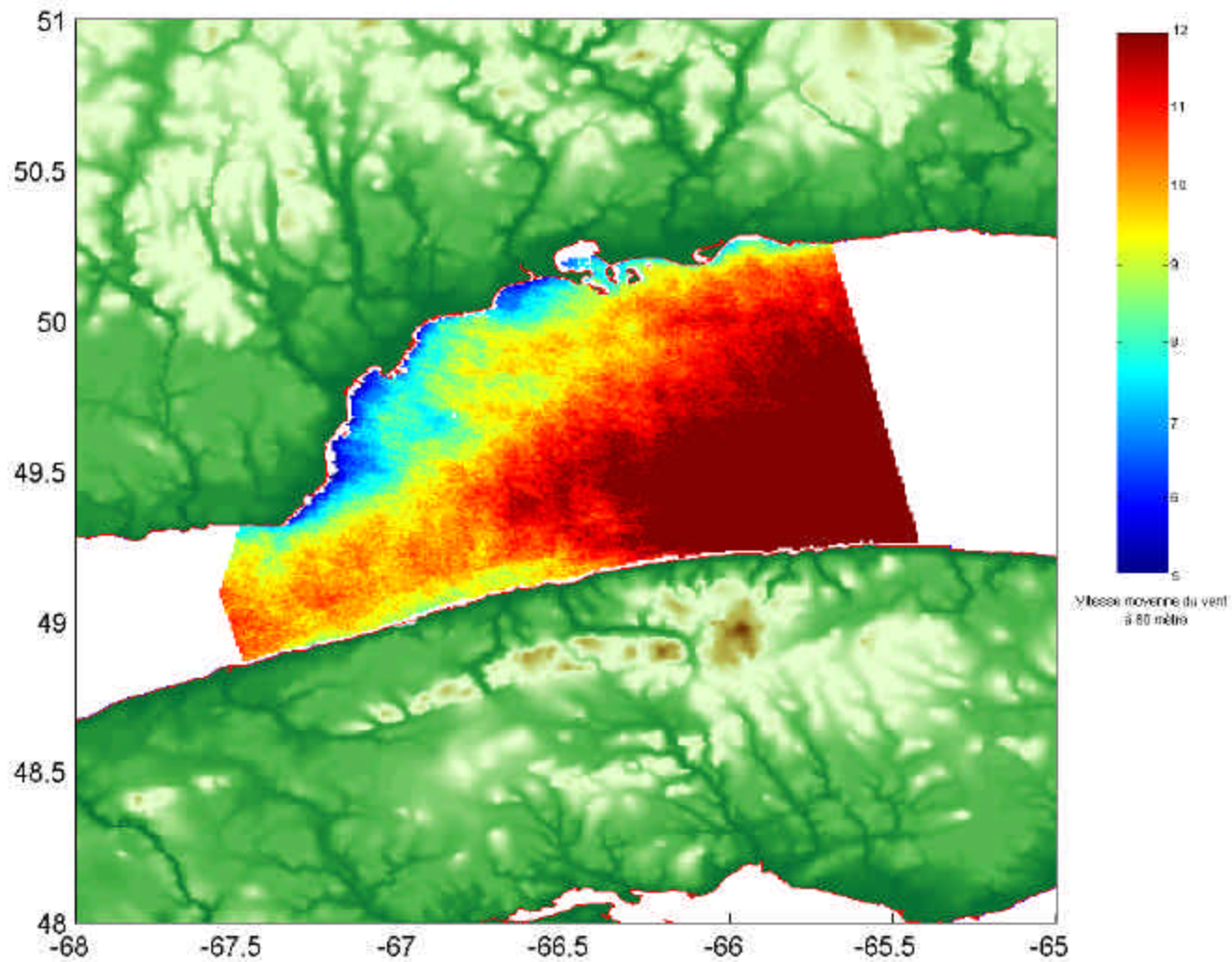
Contributions des renouvelables : Avis technique



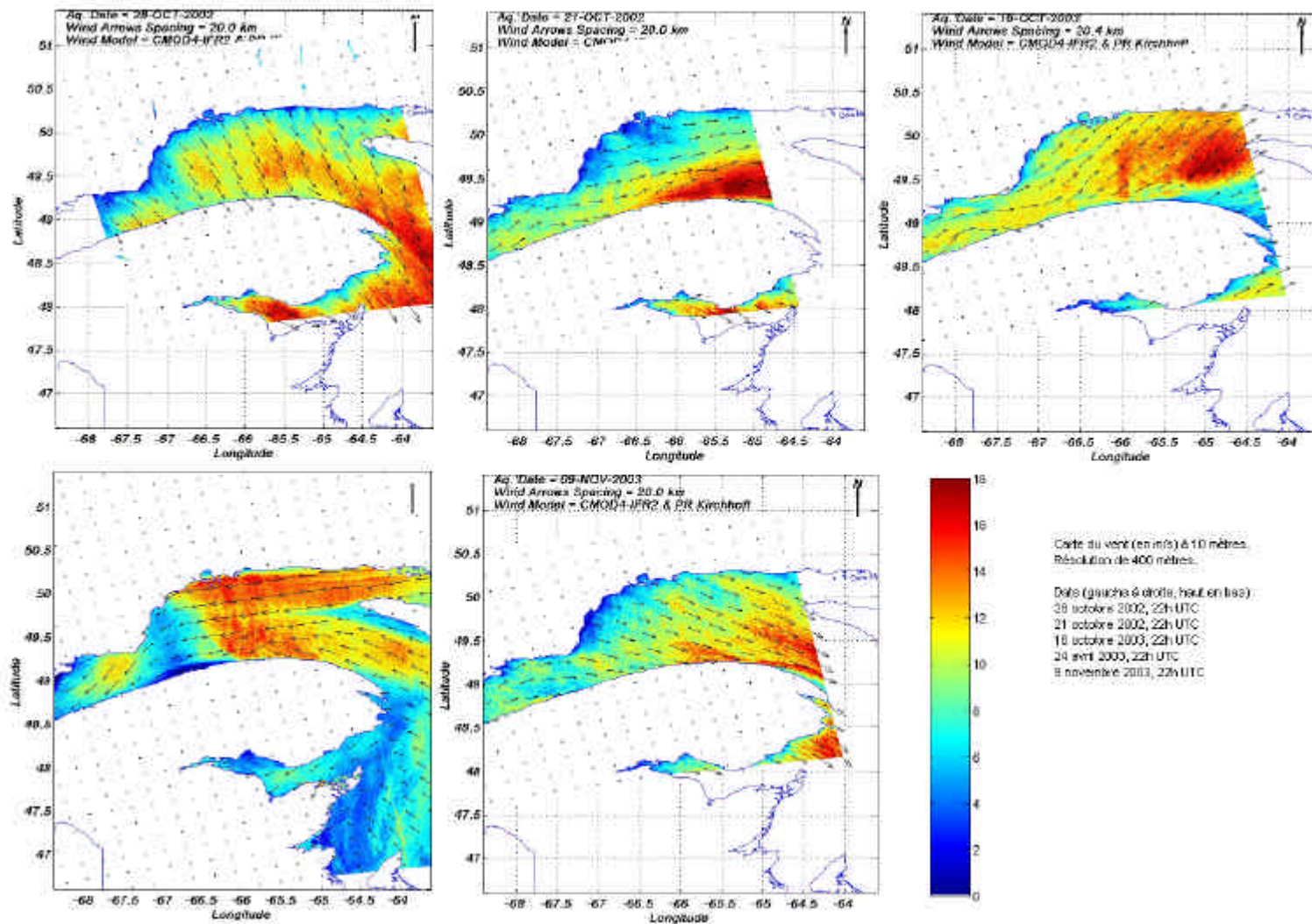
Cartographie du gisement éolien du Québec au sud du 52^{ème} parallèle. Vitesse moyenne du vent à 80 mètres. Résolution 1 km. Extrait du DOSSIER R-3526-2004 présenté par Hélimax Énergie Inc à la Régie de l'Énergie du Québec. À noter qu'un travail est en cours pour améliorer cette carte. Les résultats devraient être disponibles en hiver 2005.



Vitesse moyenne sur l'ensemble du Québec, modélisation WEST (Environnement Canada) à 5 km de maille. Évalué à 80 mètres au dessus du sol. Intervalle de contour de 0.5 m/s. C. Vitesse moyenne sur l'ensemble du Québec, modélisation WEST (Environnement Canada) à 30 km de maille. Évalué à 80 mètres au dessus du sol. Intervalle de contour de 0.5 m/s. <http://www.atlaseolien.ca/>



Carte de la vitesse moyenne du vent à partir d'images du satellite RADARSAT-1 sur le golfe du Saint-laurent. Résolution de 400 mètres. Évalué à 80 mètres au dessus du sol. Source INRS.



Exemples de carte du vent instantané à partir d'images RADARSAT-1 du golfe du Saint-Laurent. Source INRS

