

Étude sur l'évaluation du potentiel éolien, de son prix de revient et des retombées économiques pouvant en découler

Dossier R-3526-204



ÉTUDE SUR L'ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉOLIEN, DE SON PRIX DE REVIENT ET DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUE POUVANT EN DÉCOULER

DOSSIER NO. R-3526-204

Avis sur la sécurité énergétique des Québécois à l'égard des
approvisionnements électriques et la contribution du projet du Suroît

Présentée:

Au Regroupement des organismes environnementaux
en énergie (ROÉE)
507, Place d'Armes, bureau 1200
Montréal (Québec) H2Y 2W8
Téléphone: (514) 842-0748
Télécopieur: (514) 842-9983

À l'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ)
3553, 31e Rue NW, bureau 100
Calgary (Alberta) T2L 2K7
Téléphone: (800) 922-6932
Télécopieur: (403) 851-0834
www.canwea.org

Au Regroupement national des conseils régionaux
de l'environnement du Québec (RNCEQ)
1255, rue University, bureau 514
Montréal (Québec) H3B 3V8
Téléphone: (514) 861-7022
Télécopieur: (514) 861-8949
www.rncreq.org

Par:

HÉLIMAX

Hélimax Énergie inc.
4101, rue Molson, bureau 100
Montréal (Québec) H1Y 3L1
Téléphone: (514) 272-2175
Télécopieur: (514) 272-0410
www.helimax.com

REMERCIEMENTS

Nous remercions nos clients (le Regroupement des organismes environnementaux en énergie (ROEE), le Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement du Québec (RNCREQ) et l'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ)) de nous avoir donné l'occasion de travailler sur ce mandat d'envergure pouvant, nous l'espérons, fournir à la Régie de l'énergie des informations pertinentes et utiles.

Considérant le très court délai pour la réalisation de cette imposante étude, nous tenons à remercier les membres de l'équipe d'HéliMAX ayant contribué à ce rapport (par ordre alphabétique):

Bouaziz Ait -Driss, M.Sc.
Francis Pelletier, ing., M. ing.
Louis Robert, M.G.P.
Marie-Christine Giroux, B.A.
Marion Hill, ing. jr.
Nicolas Muszynski, ing. jr.
Radenko Pavlovic, M.Sc.
Richard Legault, ing., M.G.P.
Simon Hébert, B.Sc.



TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	
SOMMAIRE	
1.0 INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE.....	
2.0 HYPOTHÈSES GÉNÉRALES DE BASE.....	
2.1 ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION	
2.2 ÉVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE ET DE LA TAILLE DES ÉOLIENNES SUR L'HORIZON 2004 À 2010	
2.2.1 Éoliennes à pas fixe	
2.2.2 Éoliennes à pas variable	
2.2.3 Éoliennes à vitesse fixe	
2.2.4 Éoliennes à vitesse semi-variable	
2.2.5 Éoliennes à vitesse variable	
2.3 ÉVOLUTION DU PRIX DE REVIENT DE L'ÉNERGIE DE SOURCE ÉOLIENNE SUR L'HORIZON 2004-2010	
3.0 ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉOLIEN DU QUÉBEC.....	
3.1 LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE ET LES HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES.....	
3.1.1 L'outil de traitement du SIG.....	
3.1.2 Le modèle de cartographie éolienne à mésoéchelle	
3.1.3 L'outil de configuration de parcs éoliens	
3.2 SOMMAIRE DES RÉSULTATS OBTENUS	
3.2.1 Cartographie et classification du gisement éolien	
3.2.2 Calcul du potentiel éolien	
3.2.3 Traitement exhaustif et discussion des résultats	
3.3 DISCUSSION SUR LE POTENTIEL NON INCLUS DANS LA MÉTHODOLOGIE DE BASE.....	
3.3.1 Potentiel au nord du 53 ^e parallèle.....	
3.3.2 Potentiel en mer	
3.4 DISCUSSION SUR LES LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE.....	
4.0 PRIX DE REVIENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE DE SOURCE ÉOLIENNE.....	
4.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL UTILISÉES	
4.2 RÉSULTATS DU CALCUL DU PRIX DE REVIENT	
4.2.1 Qualité des gisements éoliens.....	
4.2.2 Gains technologiques	
4.3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ.....	
5.0 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES POUVANT ÉCOULER DE LA FILIÈRE ÉOLIENNE	
5.1 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES EN TERMES QUANTITATIFS	
5.1.1 Justification des hypothèses	
5.1.2 Résultats de la modélisation	
5.2 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES EN TERMES QUALITATIFS	
5.2.1 Développement régional et industriel	
5.2.2 Complémentarité avec l'industrie touristique.....	
5.2.3 Développement de l'expertise et leadership québécois sur l'échiquier nord-américain.....	
5.2.4 Exportation de biens et services.....	
5.2.5 Évitement/réduction des émissions de GES.....	
5.2.6 Complémentarité hydro-éolien.....	
5.2.7 Autosuffisance et sécurité énergétique	
5.2.8 Stabilité des prix et diversification du portefeuille.....	
6.0 COMPÉTENCES ET RÉALISATIONS D'HÉLIMAX.....	

LISTE DES FIGURES ET DES CARTES

FIGURES

Figure 2.1 : Évolution de la puissance éolienne installée dans le monde.....	
Figure 2.2 : Échéancier de déploiement de la filière éolienne à grande échelle au Québec : horizon 2004 à 2010	
Figure 2.3 : Évolution de la taille des éoliennes sur la période de 1980 à 2005	
Figure 2.4 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse fixe.....	
Figure 2.5 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse semi-variable	
Figure 2.6 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse variable	
Figure 3.1 : Méthodologie utilisée pour déterminer le potentiel éolien technique du Québec.....	
Figure 3.2 : Classification du territoire en fonction de gisement éolien et du niveau de traitement.....	
Figure 3.3 : Répartition du potentiel éolien selon la classe des vents (sans contrainte de distance des lignes de transport).....	
Figure 3.4 : Répartition du potentiel éolien selon la classe des vents (après contrainte de distance des lignes de transport).....	
Figure 3.5 : Répartition du potentiel éolien de 7 à 8 m/s par région administrative (avant contrainte de distance des lignes de transport).....	
Figure 3.6 : Répartition du potentiel éolien de 7 à 8 m/s par région administrative (à moins de 25 km des lignes de transport).....	
Figure 3.7 : Répartition du potentiel éolien de 8 à 9 m/s par région administrative (avant contrainte de distance des lignes de transport).....	
Figure 3.8 : Répartition du potentiel éolien de 8 à 9 m/s par région administrative (à moins de 25 km des lignes de transport).....	
Figure 3.9 : Répartition du potentiel éolien de 9 m/s et plus par région administrative	
Figure 4.1 : Prix de revient de l'énergie éolienne au Québec selon l'évolution technologique pour 4 classes de gisement.....	
Figure 4.2 : Résultats de la sensibilité du TRI après taxes sur le capital et municipales à la variation de sept paramètres	

CARTES

Carte 142-01-18-04-04-01	
Carte 142-02-18-04-04-01	
Carte 142-03-18-04-04-01	
Carte 142-04-18-04-04-01	
Carte 142-05-18-04-04-01	
Carte 142-06-18-04-04-01	
Carte 142-07-18-04-04-01	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Produits annoncés disponibles ou sous forme de prototypes	
Tableau 2.2 : Prévisions sur la réduction moyenne annuelle du coût de l'énergie éolienne à l'horizon 2010.....	
Tableau 3.1 : Méthodologie utilisée pour déterminer le potentiel éolien.....	
Tableau 3.2 : Contraintes prises en compte	
Tableau 3.3 : Résultat des calculs pour différentes classes de vents : parc éolien typique	
Tableau 3.4 : Cartes des vents produites pour chacune des classes de vents acceptables	
Tableau 3.5 : Synthèse des résultats obtenus en terme de potentiel éolien pour chacune des 4 classes de vent	
Tableau 3.6: Résultats détaillés par régions administrative	
Tableau 4.1 : Hypothèses techniques des projets éoliens	
Tableau 4.2 : Hypothèses budgétaire, économique et fiscale des projets éoliens	
Tableau 4.3 : Hypothèses de financement des projets éoliens	
Tableau 4.4 : Valeurs de calcul utilisées selon l'année de construction et de mise en service sur l'horizon 2004 à 2010	
Tableau 4.5 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de la vitesse des vents	
Tableau 4.6 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de la production d'électricité	
Tableau 4.7 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de du prix de revient.....	
Tableau 4.8 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du coût d'investissement	
Tableau 4.9 : Sensibilité du TRIATCM à une variation des dépenses d'opération et d'entretien	
Tableau 4.10 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du taux d'intérêt sur la dette	
Tableau 4.11 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du ratio dette sur fonds propres	
Tableau 5.1 : Hypothèses de base pour la modélisation -des retombées économiques	
Tableau 5.2 : Hypothèses sur la ventilation du coût de construction d'un projet éolien et son contenu québécois (mille \$2004) - Scénarios de 1 000 MW et 4 000 MW	
Tableau 5.3 : Hypothèses sur la ventilation du coût d'exploitation d'un projet éolien et son contenu québécois (mille \$2004) - Scénarios de 1 000 MW et 4 000 MW	
Tableau 5.4 : Impact économique sur l'ensemble du Québec de la construction et l'exploitation de vingt parcs d'éoliennes ayant un potentiel de 1 000 MW	
Tableau 5.5 : Impact économique sur l'ensemble du Québec de la construction et l'exploitation de vingt parcs d'éoliennes ayant un potentiel de 4 000 MW	
Tableau 6.1 : Projets et clients pour lesquels Hélimax a mesuré des prix de revient en kWh.....	

SOMMAIRE

Dans le contexte de la cause R3526-2004, les services de Hélimax Énergie incorporée (« Hélimax ») ont été retenus par le Regroupement des organismes environnementaux en énergie (« ROEE »)¹, le Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement du Québec (« RNCEQ »)² et l'Association canadienne de l'énergie éolienne (« ACÉE »)³ afin de répondre à certaines questions fondamentales entourant l'utilisation possible de la filière éoliennes au Québec, à savoir :

- A) Quel est le potentiel éolien du Québec ?
- B) Quel est le prix de revient de l'électricité produite de source éolienne ?
- C) Quelles sont les retombées économiques pouvant découler d'un déploiement à grande échelle de la filière éolienne ?

Avant de traiter de ces 3 questions dans le détail, Hélimax a dû émettre et justifier les 3 hypothèses de base suivantes :

1. La filière éolienne pourrait être déployée sur la période 2008-2010 si la décision d'y faire appel à très grande échelle était prise dès le début de 2005
2. La puissance nominale moyenne des éoliennes mise en service sur l'horizon 2008-2010 est d'au moins 3 MW
3. La réduction du prix de revient de la filière éolienne sur l'horizon 2004-2010 est évaluée à 2,5% par année (cette valeur étant la plus conservatrice des valeurs fournies dans 4 études différentes)

Évaluation du potentiel éolien et prix de revient par classes de gisement

Une méthodologie rigoureuse en 11 étapes a été développée afin de déterminer le potentiel éolien technique de chacune des 17 régions administratives du Québec et ce, pour les trois classes de gisement offrant un potentiel de viabilité économique à court-moyen terme, soit :

- Le gisement de qualité exceptionnelle (9 m/s et plus)
- Le gisement d'excellente qualité (8 m/s à 9 m/s)
- Le gisement de très bonne qualité (7 m/s à 8 m/s)

La méthodologie repose sur une utilisation optimale des outils informatiques modernes suivants :

- Outil de traitement du Système d'Information Géographique (« SIG »)
- Modèle de cartographie éolienne à mésoéchelle
- Outil de configuration de parc et de calcul du productible

Ces outils ont été utilisés pour générer un important volume d'informations sous format numérique pour ensuite être traités de manière à calculer, dans un premier temps, le territoire propre au développement éolien obtenu après avoir exclu plus d'une vingtaine de contraintes regroupées sous le

thème des contraintes d'occupation du territoire (agglomération et zone tampon, routes et accès, infrastructures et constructions, zones protégées), de la topographie et de l'hydrographie.

Par la suite, un ratio MW/km² a été calculé afin de déterminer le potentiel du territoire propre au développement éolien (après exclusions des contraintes) en termes de puissance installée. Finalement, un facteur d'utilisation type a été déterminé pour chacune des classes de gisement en fonction d'une éolienne type de manière à calculer la production énergétique pouvant découler du potentiel éolien estimé.

Une étape additionnelle de traitement de l'information a été prévue à la méthodologie afin de faire une distinction entre le potentiel éolien situé à plus ou moins 25 km des lignes de transport d'électricité.

Le tableau 1 présente un sommaire des résultats obtenus pour l'ensemble du Québec. Une analyse plus exhaustive des résultats permet de constater les faits saillants suivants :

- Les régions administratives de la Côte-Nord et du Nord du Québec recèlent de loin le plus grand potentiel éolien technique du Québec avec 77 % du potentiel pour les classes de gisement de 7 m/s et plus.
- Les régions Bas-Saint-Laurent et Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine recèlent le deuxième potentiel éolien technique d'importance au Québec avec 9 % du potentiel pour les classes de gisement de 7 m/s et plus.
- La région du Saguenay-Lac-Saint-Jean recèle le troisième potentiel éolien technique d'importance au Québec avec 8 % du potentiel pour les classes de gisement de 7 m/s et plus.
- La région de la Montérégie recèle le quatrième potentiel éolien technique d'importance au Québec avec 3 % du potentiel pour les classes de gisement de 7 m/s et plus.
- 100 % du potentiel éolien de la région de la Montérégie se trouve à moins de 25 km du réseau existant de transport d'électricité.
- 95 % du potentiel éolien des régions Bas-Saint-Laurent et Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine se trouve à moins de 25 km du réseau existant de transport d'électricité.
- 13 % du potentiel éolien des régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec se trouve à moins de 25 km du réseau existant de transport d'électricité.
- 7 % du potentiel éolien de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean se trouve à moins de 25 km du réseau existant de transport d'électricité.
- Seule les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec recèlent un potentiel qualifié d'exceptionnel avec une vitesse moyenne de 9 m/s et plus.
- On retrouve un gisement de qualité excellente (vents moyens de 8 à 9 m/s) dans les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec, ainsi que, dans une moindre mesure,

au Saguenay-Lac-Saint-Jean et en Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine.

- La région de la Montérégie ne recèle qu'un gisement qualifié de très bonne qualité avec des vitesses moyenne de 7 à 8 m/s.

Le tableau 1 présente de plus les résultats d'une analyse financière réalisée pour déterminer le prix de revient de la filière éolienne pour chacune des trois classes de vent et en fonction de l'évolution technologique sur l'horizon 2004-2010. Finalement, une analyse de sensibilité des sept paramètres les plus sensibles au calcul du taux de rendement interne des projets à été effectuée en les faisant varier de

plus ou moins 5 %, 10 %, et 20 % respectivement. Ces paramètres sont présentés plus bas par ordre décroissant de sensibilité:

- Prix de revient de l'électricité vendu (grande sensibilité)
- Vitesse moyenne du vent (grande sensibilité)
- Coût total d'investissement (grande sensibilité)
- Production d'électricité (grande sensibilité)
- Taux d'intérêt sur la dette (sensibilité moyenne)
- Dépenses d'opération et d'entretien (sensibilité moyenne)
- Ratio dette sur fonds propres (faible sensibilité)

Personnes année par catégorie	Scénario 1 000 MW			Scénario 4 000 MW		
	Effets directs	Effets indirects	Effets induits	Effets directs	Effets indirects	Effets induits
Phase construction						
Personne année	1 378	7 706	2 028	4 920	31 906	8 312
Personne année / million \$ d'investissement	0,8	4,7	1,2	0,8	5,5	1,4
Personne année / MW de puissance	1,4	7,7	2,0	4,9	31,9	8,3
Phase exploitation						
Personne année	105	187	81	372	660	291
Personne année / TWh généré	34,2	60,9	26,4	30,3	53,8	23,7
Total construction et 25 années d'exploitation						
Personne année	4 003	12 381	4 053	14 220	48 406	15 587

Tableau 1 : Sommaire des retombés de la filière éolienne en terme d'emplois

Retombées économiques de la filière éolienne

La filière éolienne compte parmi ses nombreux avantages le niveau relativement élevé des retombées économiques découlant de la réalisation et de l'exploitation des parcs éoliens.

Le modèle intersectoriel du Québec a donc été roulé afin de déterminer les emplois directs, indirects et induits pouvant résulter de la réalisation de 1 000 MW et 4 000 MW d'éolien avec un contenu québécois de 60 % et 70 % respectivement lors de la phase réalisation et 72,5 % et 80,2 % respectivement lors de la phase exploitation.

Les retombées en terme d'emploi sont résumées au tableau 2.

D'autres retombées économiques mais de nature qualitative cette fois, sont à prévoir suite au déploiement à grande échelle de la filière éolienne. Ces retombées touchent les aspects suivants :

- Développement régional et industriel
- Complémentarité avec l'industrie touristique
- Développement de l'expertise et leadership québécois sur l'échiquier nord-américain
- Exportation de biens et services
- Évitement/réduction des émissions de GES
- Complémentarité hydro-éolien
- Autosuffisance et sécurité énergétique
- Stabilité des prix et diversification du portefeuille

Information	Classe de gisement		
	Très bonne	Excellente	Exceptionnelle
Vitesse (m/s)	7 à 8	8 à 9	9 et plus
Vitesse moyenne (m/s)	7,5	8,5	9,5
Facteur d'utilisation (%)	33,5	38,6	43,6
Potentiel technique avant contrainte de distance des lignes de transport			
- En puissance nominale (MW)	359 184	54840	1 452
- En énergie (TWh/année)	1 054	185	6
Potentiel technique à moins de 25 km des lignes de transport			
- En puissance nominale (MW)	97 560	3 840	12
- En énergie (TWh/année)	286	13	0
Prix de revient (\$2004 – indexé à 2.1 % sur 25 ans)			
- Technologie de 2004 (cents)	8,1	7,3	6,6
- Technologie de 2006 (cents)	7,8	6,9	6,3
- Technologie de 2008 (cents)	7,4	6,6	6,0
- Technologie de 2010 (cents)	7,0	6,3	5,9

Tableau 2 : Potentiel éolien du Québec et prix de revient par classe de gisement

1.0 INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE

Suite aux préoccupations du ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, ce dernier demandait à la Régie de l'Énergie, le 9 février 2004, de lui donner un avis sur la sécurité énergétique des consommateurs québécois à l'égard des approvisionnements électriques et de la contribution du projet du Suroît.

Parmi les nombreux intervenants ayant exprimé leurs intentions de présenter un argumentaire figure le Regroupement des organismes environnementaux en énergie (« ROÉÉ »)¹, le Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement du Québec (« RNCEQ »)² et l'Association canadienne de l'énergie éolienne (« ACÉE »)³. Ces trois intervenants ont en commun un intérêt pour la filière éolienne qu'ils considèrent comme une option importante à considérer dans le présent débat. Pour fins d'économie et d'efficacité, ces trois intervenants ont décidé de se regrouper en ce qui touche le volet éolien de leur preuve, ce pour quoi ils ont conjointement fait appel à l'expertise d'Hélimax Énergie incorporée (« Hélimax »).

Plus spécifiquement, Hélimax a été mandaté afin de répondre à certaines questions fondamentales entourant l'utilisation possible de la filière éolienne au Québec, à savoir :

- A) Quel est le potentiel éolien du Québec ?
- B) Quel est le prix de revient de l'électricité produite de source éolienne ?
- C) Quelles sont les retombées économiques pouvant découler d'un déploiement à grande échelle de la filière éolienne?

Le présent document traite donc en détail, aux chapitres 3, 4 et 5 respectivement, des trois questions fondamentales énumérées plus haut. Le chapitre 2 présente pour sa part une discussion de fonds sur l'élaboration de certaines hypothèses générales de base devant être émises avant de répondre à ces trois questions. Enfin, le chapitre 6 fournit quelques informations sur les compétences et réalisations d'Hélimax, alors que les annexes ____ à ____ complètent le rapport.



1. Le ROÉÉ est composé des 7 groupes suivants: Greenpeace, le Mouvement au Courant, Environnement Jeunesse (ENJEU), l'Union québécoise pour la conservation de la nature (UQCN), le Comité Baie James, la Fédération québécoise du canot et du kayak et le Regroupement pour la surveillance du nucléaire.
2. Le RNCREQ est un organisme reconnu et financé par le ministère de l'Environnement et de la Faune qui a le mandat d'être le porte-parole des orientations communes des 16 Conseils régionaux de l'environnement (CRE) situés dans chacune des régions du Québec.
3. L'ACÉE représente la communauté de l'énergie éolienne, constituée d'individus et d'organisations faisant la promotion de l'énergie éolienne au Canada.

2.0 HYPOTHÈSES GÉNÉRALES DE BASE

De grandes hypothèses générales de base ont dû, dès le départ, être émises afin de répondre aux trois grandes questions faisant l'objet de la présente étude.

Ces hypothèses traitent de :

- L'échéancier le plus hâtif possible pour la réalisation des projets éoliens;
- L'évolution de la technologie et de la taille des éoliennes sur l'horizon 2004 à 2010;
- L'évolution du prix de revient de l'électricité de source éolienne sur l'horizon 2004 à 2010.

Les sections 2.1 à 2.3 traitent en détail de ces questions et des hypothèses retenues pour la suite de l'étude.

2.1 ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION

Comme le démontre la figure 2.1, la filière éolienne a connue une croissance fulgurante au cours des 10 dernières années. Cette croissance est à la fois le résultat et la cause de l'augmentation considérable de la taille des éoliennes, lesquelles sont aujourd'hui beaucoup plus efficaces et compétitives que par le passé.

Cette augmentation de la taille des éoliennes a pour conséquence d'augmenter le potentiel éolien d'un territoire donné (en terme de puissance pouvant y être installée et d'électricité pouvant y être produite). Par ailleurs, la réduction du prix de revient de la filière éolienne est une conséquence directe de l'augmentation de la taille des éoliennes (en plus d'autres facteurs comme nous le verrons plus bas).

Considérant ce qui précède, il est nécessaire d'établir, dès le début de l'étude, la période pour laquelle cette dernière est réalisée afin de tenir compte de la taille des éoliennes dans le calcul du potentiel technique du Québec et du prix de revient de la filière.

Dans ce contexte, il est pertinent de déterminer la date la plus hâtive pour laquelle la filière éolienne pourrait être déployée à grande échelle, dans l'hypothèse où sa contribution était souhaitée rapidement pour des raisons de sécurité d'approvisionnement.

La filière éolienne est reconnue pour sa rapidité de mise en service une fois les études complétées (étude des vents, études des impacts, ...). Comme l'indique la figure 2.2, la filière éolienne pourrait être déployée sur la période 2008 à 2010 à grande échelle si la décision d'y faire appel de façon massive était prise dès le début de 2005.

D'autre part, il est aussi pertinent de rappeler les dates prévues de mise en service des 1 000 MW de puissance éolienne faisant présentement l'objet d'un appel d'offres d'Hydro-Québec Distribution.

En effet, suite au Décret gouvernemental no. 352-2003 du 5 mars 2003, Hydro-Québec Distribution lançait, le 12 mai 2003, un appel d'offres pour la réalisation de 1 000 MW de puissance éolienne installée au Québec. Entre autres conditions, cet appel d'offre stipule que les livraisons doivent débuter entre le 1^{er} décembre 2006 et le 1^{er} décembre 2012 (conditions imposées par le Règlement sur l'énergie éolienne et sur l'énergie produite avec de la biomasse – Loi dur la Régie de l'énergie – L.R.Q., c. R-6.01, a. 112, 1^{er} al., par. 2.1° et 2.2°). Les quantités d'électricité requises sont réparties de la façon suivante :

- 200 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2006;
- 100 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2007;
- 150 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2008;
- 150 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2009;
- 150 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2010;
- 150 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2011;
- 100 MW, au plus tard le 1^{er} décembre 2012.

Comme l'indiquent ces dates, bien que la mise en service soit prévue pour la période allant du 1^{er} décembre 2006 au 1^{er} décembre 2012, rien n'empêche Hydro-Québec Distribution de réaliser plus tôt la mise en service des 1 000 MW (advenant bien sûr que les promoteurs soient disposés à devancer leurs projets).

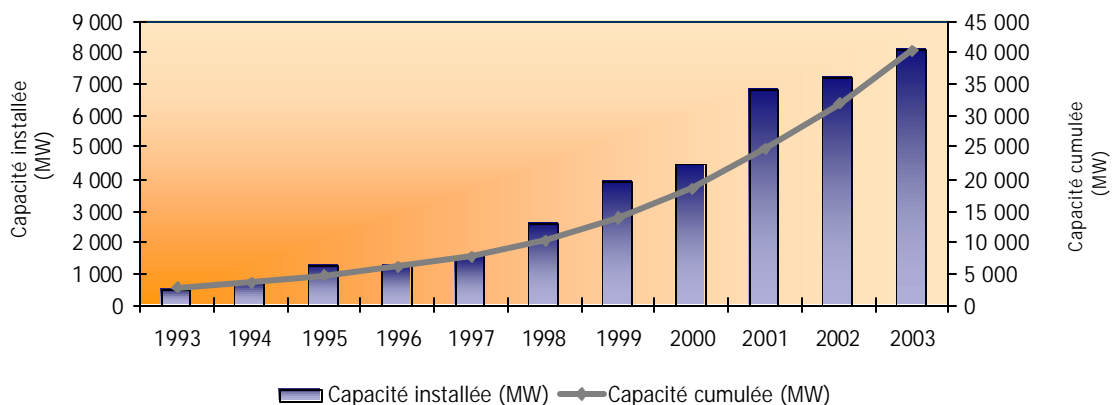


Figure 2.1 : Évolution de la puissance éolienne installée dans le monde

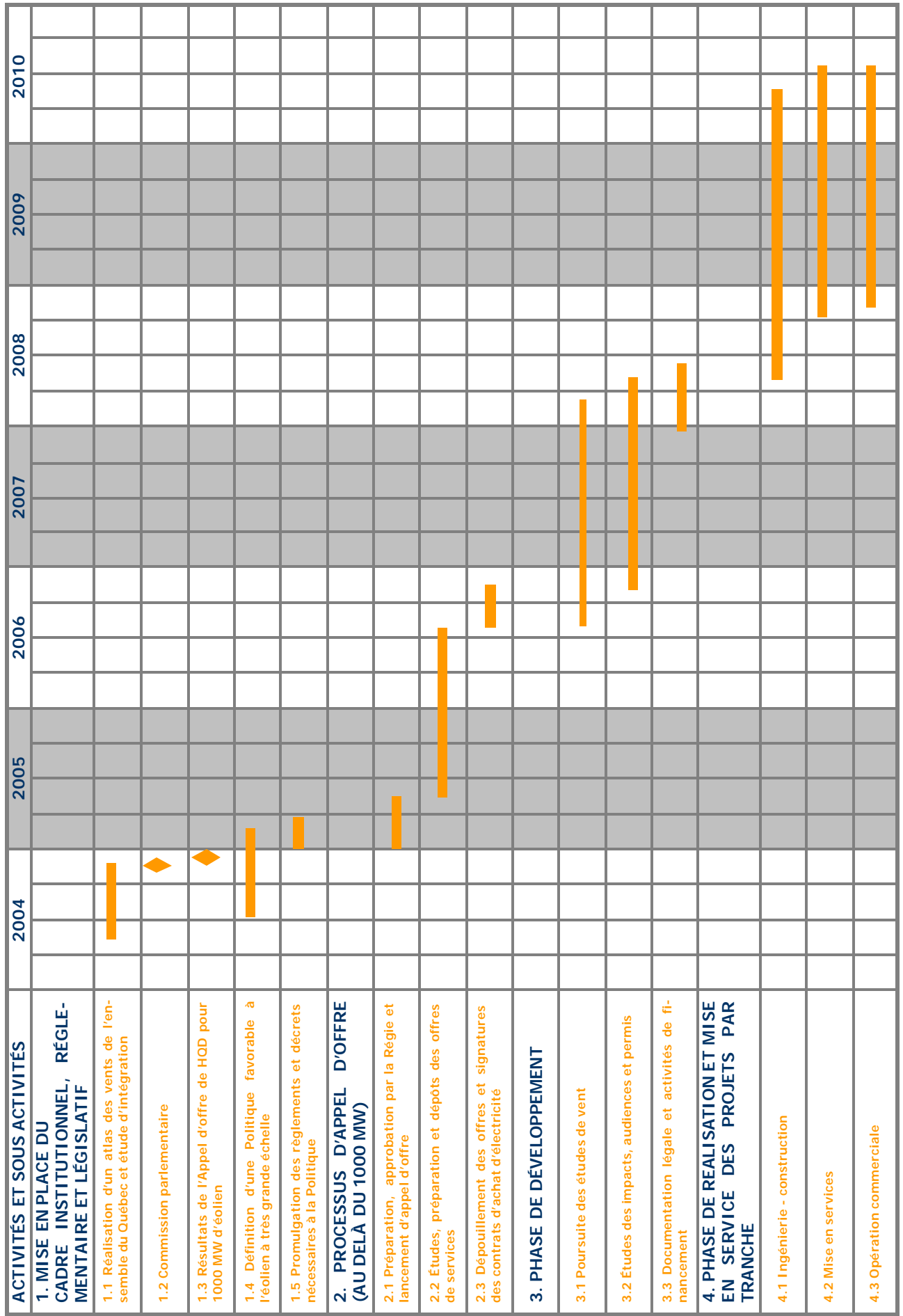


Figure 2.2 : Échéancier de déploiement de la filière éolienne à grande échelle au Québec : horizon 2004 à 2010

Type (pays)	Diamètre du rotor (m)	Puissance nominale (MW)	En production	Prototype installé
Enercon E112 (Allemagne)	112	4.0		X
GE 3.6 (Etats-Unis)	104	3.6	X	
NEG Micon 92/2750 (Danemark)	92	4.2		X
Vestas V90 (Danemark)	90	3.0	X	

Tableau 2.1 : Produits annoncés disponibles ou sous forme de prototypes

2.2 ÉVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE ET DE LA TAILLE DES ÉOLIENNES SUR L'HORIZON 2004 À 2010

La puissance nominale des éoliennes de grande puissance actuelles varie entre 600 kW et 2,5 MW dans le cas des éoliennes situées sur la terre ferme, comparativement aux éoliennes de 25 kW du début des années 1980. La puissance moyenne des éoliennes installées au cours de l'année 2002 s'évalue à 1,62 MW (source BTM consult AsP-March 2003).

Les plus importants manufacturiers d'éoliennes dans le monde ont déjà sur leur ligne de production des machines de puissance comprise entre 2,5 et 3,6 MW. Les plus avancés ont érigé des prototypes de 4,0 MW et plus, alors que les prototypes actuellement en phase de conception dans les bureaux d'études visent des puissances de 5,0 à 7,0 MW (selon les catalogues publiés par les manufacturiers).

Sur la base des discussions en cours avec les différents fabricants d'éoliennes, il appert que la taille moyenne probable des éoliennes considérées pour des projets devant être réalisés à court terme est de l'ordre de 2,0 MW et plus, alors que la taille moyenne des éoliennes mise en service sur l'horizon 2008 à 2010 serait d'au moins 3,0 MW.

Le tableau 2.1 ci-dessus résume les produits annoncés disponibles (pour application sur terre et/ou en mer) ou sous forme de prototypes installés par certains fabricants d'éoliennes, alors que la figure 2.3 montre l'évolution dans le temps de la taille des éoliennes dans le cas d'un manufacturier en particulier.

L'augmentation de la taille des éoliennes s'est faite en parallèle à l'évolution de la technologie des machines. Cette évolution touche les principales composantes d'une éolienne à savoir :

- La technologie des pales;
- La technologie des boîtes de transmissions (multiplicateurs de vitesse);
- La partie conversion de l'énergie électrique;
- Les matériaux en général (châssis nacelle, tour, pales etc.);
- Les systèmes de contrôle et de régulation.

Les concepts technologiques appliqués dans les éoliennes font partie de l'évolution de l'éolienne dans son ensemble.

Les sous-sections 2.2.1 à 2.2.5 présentent les importants progrès technologiques réalisés ou en cours de réalisation afin de montrer le cheminement de la technologie des éoliennes dans le temps.

Le concept technologique à axe horizontal, à trois pales constitue l'éolienne moderne d'aujourd'hui. Ce concept ne semble pas devoir changer dans les années à venir et ce, même si des concepteurs mettent à jour des maquettes de conception diverses.

L'évolution de la technologie des éoliennes a été motivée par des paramètres de fiabilité et de performance qui sont directement liés aux composantes éoliennes énumérées ci-dessus.

De manière générale, les aérogénérateurs modernes sont conçus pour atteindre leur puissance nominale à une vitesse de vent de 12 à 15 m/s et sont arrêtés automatiquement vers 25 m/s. Pour limiter la puissance transmise par le vent, des systèmes de régulation et de contrôle sont intégrés à l'éolienne.

Parmi les éoliennes commercialisées actuellement, on retrouve les concepts suivants :

2.2.1 Éoliennes à pas fixe

Pour ce type d'éolienne, les pales sont montées de manière rigide et conçues afin de faire chuter le rendement aérodynamique et de maintenir la vitesse des pales quasi-constante alors que la vitesse du vent est élevée (« passive stall by aerodynamic control »).

2.2.2 Éoliennes à pas variable

Ce type d'éoliennes utilise des pales mobiles autour de leur axe longitudinal. Lorsque la vitesse du vent augmente, les pales pivotent sur elles-mêmes de manière à réduire la portée du vent qui les entraîne. Un système de contrôle avancé permet de déterminer la meilleure position des pales en fonction de la vitesse du vent et commande le système d'orientation des pales pour ajuster l'angle d'attaque (« blade pitch control »).

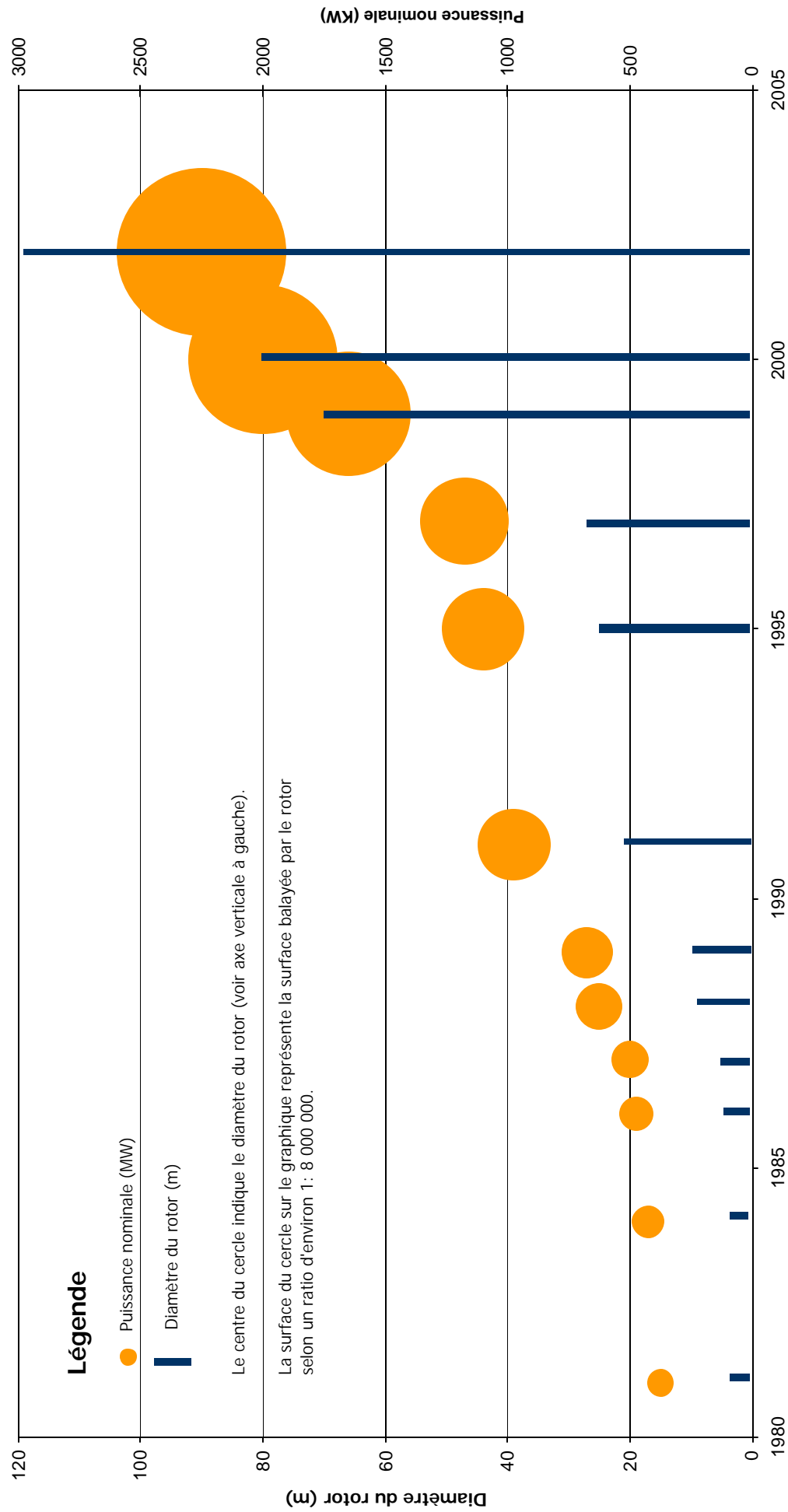


Figure 2.3 : Évolution de la taille des éoliennes sur la période de 1980 à 2005

Les deux techniques de limitation de la puissance ci-dessus présentent des différences fondamentales, particulièrement à haute vitesse des vents. Les turbines à pas fixe tendent à dépasser la puissance de régulation et subissent ainsi de grandes forces et de fortes vibrations quand la vitesse de vent est très élevée. En revanche, les turbines à pas variable maintiennent plus facilement la puissance produite à un niveau sensiblement constant, ce qui réduit considérablement les efforts sur les pales et les autres composantes de la turbine et permet de livrer au réseau électrique une énergie de meilleure qualité.

Les turbines à pas variable sont largement éprouvées et tendent à remplacer celles à pas fixe surtout dans les nouvelles gammes de machines de grande taille (2,0 MW et plus).

Dans les deux cas présentés plus haut, le générateur dans la nacelle de l'éolienne transforme l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique grâce au phénomène d'induction. Selon le générateur électrique utilisé, l'éolienne pourra permettre un fonctionnement à vitesse de rotation fixe, semi-variable ou variable.

2.2.3 Éoliennes à vitesse fixe

Ces éoliennes sont équipées de générateurs tournants à vitesse constante et sont directement couplées au réseau électrique. Ce concept est préféré pour des considérations liées aux coûts relativement bas des composantes malgré les inconvénients relatifs au fonctionnement aérodynamique du rotor éolien et aux charges dynamiques sur le mécanisme du multiplicateur de vitesse.

La chaîne de conversion de ce type de technologie est constituée, comme indiqué sur la figure 2.4, d'un rotor éolien, d'un multiplicateur de vitesse et d'un générateur couplé directement au réseau.

Les générateurs électriques les plus utilisés dans ce cas sont les générateurs à induction (asynchrones) qui se couplent facilement au réseau et qui acceptent des variations de la vitesse de rotation comparativement aux générateurs synchrones lorsqu'ils sont directement liés au réseau. En effet, ces derniers présentent l'inconvénient de mal supporter les variations de charges sur le rotor suite aux effets des bourrasques de vent.

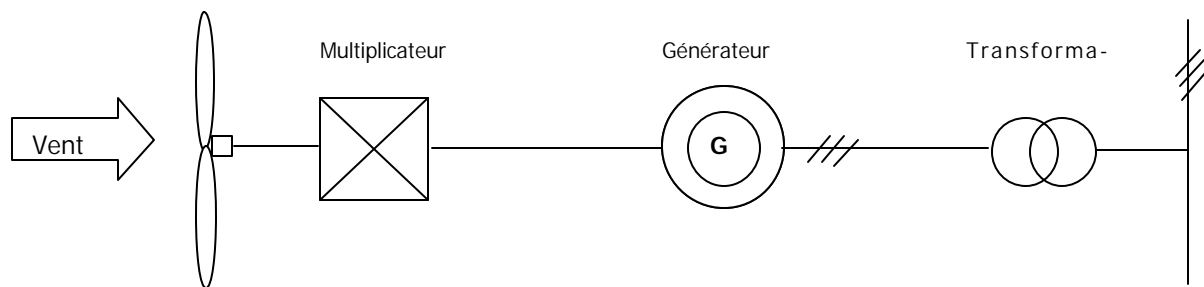


Figure 2.4 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse fixe

2.2.4 Éoliennes à vitesse semi-variable

Une des solutions pour améliorer le rendement de conversion est de permettre aux machines de fonctionner à deux vitesses, soit une pour des régimes de vent élevés et l'autre pour des régimes de vent plus bas. Dans ce cas, le générateur peut être équipé d'un système d'excitation électronique pour

permettre la variation partielle de la vitesse de rotation du rotor, généralement dans l'intervalle $\pm 10\%$. La figure 2.5 montre le schéma de principe des éoliennes à vitesse semi-variable.

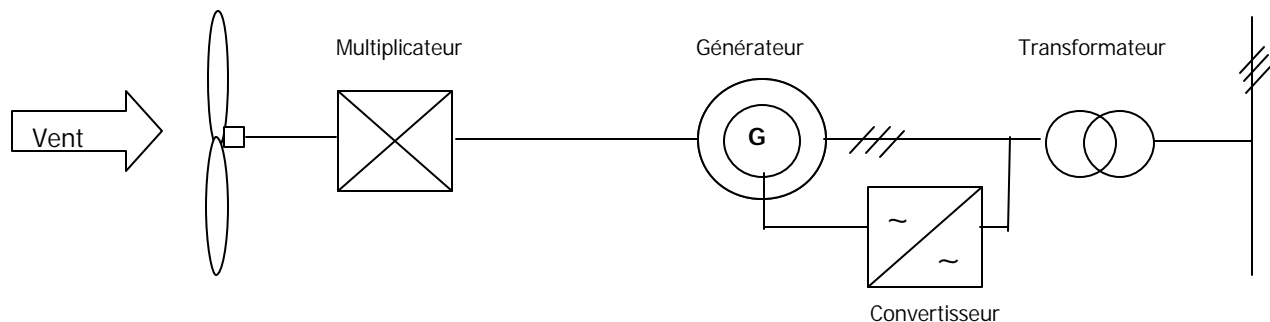


Figure 2.5 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse semi-variable

2.2.5 Éoliennes à vitesse variable

L'introduction de générateurs électriques pouvant fonctionner à des vitesses de rotation variables a augmenté le rendement de conversion des éoliennes en plus d'améliorer leur comportement structurel et leur couplage aux réseaux électriques. Ce concept technologique ne peut pas être utilisé sans l'ajout de convertisseurs électroniques qui, il y a une dizaine d'années, n'était pas envisageable.

Les progrès des technologies de l'électronique de puissance commencent à rendre le couplage des générateurs fonctionnant à vitesse variable économiquement viable et a donné un nouveau souffle à cette application. De plus, la suppression du multiplicateur de vitesse est l'une des améliorations qui peuvent être apportées au système conventionnel alors que l'utilisation des générateurs à aimants permanents donne plus de souplesse à la chaîne de conversion. Certains manufacturiers ont déjà adopté le fonctionnement des éoliennes à vitesse variable.

Une éolienne basée sur ce principe est schématisée à la figure 2.6. Elle comporte un rotor éolien, un générateur (généralement du type synchrone) un redresseur CA/CC (courant alternatif / courant continu) puis un onduleur CC/CA. L'avènement des transistors de puissance pour ce genre

d'application permet de piloter l'onduleur à l'aide du concept MLI (modulation de largeur d'impulsion) amenant le convertisseur à produire une tension sinusoïdale de haute qualité.

Cette technologie est bénéfique pour le réseau électrique à plus d'un titre étant donné qu'elle permet un couplage souple des éoliennes au réseau et contribue à la stabilisation de celui-ci.

Du fait de la croissance fulgurante de la filière éolienne à travers le monde et spécialement en Europe, les développements technologiques se tournent aussi à l'amélioration des performances des éoliennes à bas régime de vent. Certains régimes de vent restés inexploités sont actuellement ciblés par des programmes de recherche et de développement de la technologie éolienne de sorte à permettre des développements de projets économiquement viables en améliorant la productivité de celles-ci. C'est ainsi qu'entre autre un programme de recherche (« Low Wind Speed Technology Development in the US » NREL/CP-500-32512 May 2002) a été mis sur pied aux États-Unis pour le développement des technologies d'éoliennes destinées aux bas régimes de vent. De par la qualité relativement faible de son gisement éolien, l'Allemagne s'est déjà attelée à développer et à installer des éoliennes destinées à fonctionner dans de telles conditions.

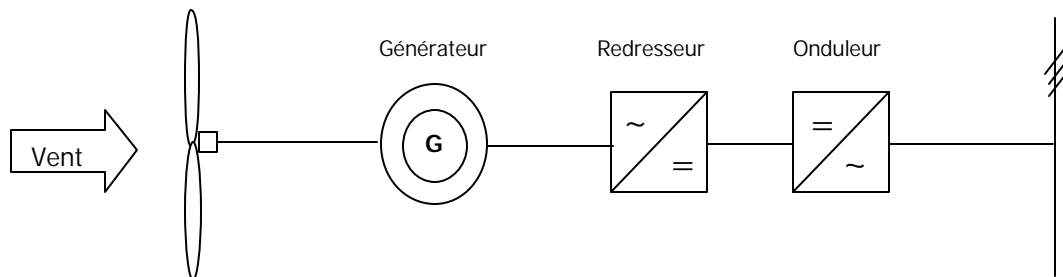


Figure 2.6 : Chaîne de conversion d'une éolienne à vitesse variable

2.3 ÉVOLUTION DU PRIX DE REVIENT DE L'ÉNERGIE DE SOURCE ÉOLIENNE SUR L'HORIZON 2004-2010

L'augmentation de la taille des éoliennes est un des principaux facteurs favorisant la réduction du prix de revient de cette filière. En effet, une éolienne de plus grande taille signifie :

- Une réduction du coût des composantes de l'éolienne grâce à l'économie d'échelle, résultant en un coût relativement plus faible des éoliennes (par kW de puissance nominale);
- Une réduction du coût des travaux de construction considérant le nombre moins important de fondations, de chemins et de raccordements entre les éoliennes pour une puissance nominale donnée;
- Une réduction des frais d'opération et d'entretien par kWh produit considérant le nombre moins important d'éoliennes à exploiter pour une puissance donnée.

En plus des gains découlant de l'économie d'échelle, la filière éolienne a connu et connaîtra encore une réduction de son prix de revient pour les raisons suivantes :

- L'accès à l'électronique de puissance (de moins en moins coûteux);
- L'évolution des matériaux (de plus en plus légers);
- Une plus grande efficacité sur le plan aérodynamique (pales), mécanique et électrique (engrenage, génératrice, utilisation de la vitesse variable);
- L'utilisation de systèmes de contrôle plus performants;
- Une plus grande fiabilité des éoliennes;
- Une meilleure capacité à répertorier les bons gisements, à les évaluer avec précision et à configurer les parcs de manière optimale;
- Un accès à du financement moins coûteux (considérant la plus grande maturité de la filière).

Pour les raisons qui précèdent, l'on convient que le prix de revient de la filière éolienne continuera de diminuer, à un rythme sur lequel tous ne s'entendent toutefois pas.

De manière générale, l'énergie éolienne est présentement compétitive par rapport aux formes conventionnelles d'énergie (énergies fossiles et nucléaires) si l'on comptabilise ses avantages sociaux et ses bénéfices environnementaux.

Par ailleurs, plusieurs organisations internationales (n'ayant pas d'intérêt particulier pour le déploiement de l'énergie éolienne) comme l'Agence internationale de l'énergie atomique, considèrent que l'énergie éolienne deviendra compétitive avec les énergies fossiles et l'énergie nucléaire sans égard aux considérations sociales et environnementales.

En s'appuyant sur divers études et rapports, la réduction du coût de l'énergie éolienne est donnée selon des scénarios optimistes pour certains et conservateurs pour d'autres. Toutes les publications consultées s'accordent à dire que la réduction des prix escomptée d'ici 2010 se poursuivra de manière soutenue alors qu'un ralentissement de cette réduction est projeté dans la deuxième décennie, entre 2010 et 2020.

Les études et publications consultées pour les fins de ce travail sont les suivantes :

- Les rapports « Wind Force »^{4,5} élaborés pour le compte de l'Association européenne de l'énergie Éolienne (EWEA : European Wind Energy Association), du « Danish Forum for Energy and Development » et de Greenpeace sont basés sur les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (IEA : International Energy Agency) et de BTM Consult, une firme de consultation spécialisée dans le domaine de l'éolien. « Wind Force 10 » et « Wind Force 12 » publient des taux de réduction annuels des prix de l'énergie éolienne à l'horizon 2010 respectivement de 2,9 % et 3,5 %.
- Le rapport de BTM Consult Asp⁶ (mars 2003) avance une réduction annuelle des coûts d'installation de l'énergie éolienne conservatrice de 2,5 % à l'horizon 2007. Ce rapport ne fait pas d'analyse des coûts de l'énergie.
- La publication⁷ du Laboratoire des énergies renouvelable du département de l'énergie des États-Unis (NREL : National Renewable Energy Laboratory) affiche une réduction annuelle du coût de l'énergie éolienne optimiste de 7,1 %. Cette réduction est mise plutôt comme cible à atteindre dans le programme de recherche sur les technologies éoliennes à basses vitesses de vent.
- Le rapport⁸ publié en 1997 conjointement par le groupe constitué de l'EERE (Office of Utility Technology/Energy Efficiency and Renewable Energy) du département de l'énergie et de l'institut EPRI (Electric Power Research Institute) arrive à une prévision de la réduction annuelle

des coûts de l'énergie éolienne de 3,0 %. Cette prévision conservatrice est faite sur la base de l'évolution de la technologie éolienne suite au programme de R&D dans la filière.

Le tableau 2.2 résume les différentes prévisions énoncées ci-dessus. Aux fins des présentes, nous utiliserons une diminution du prix de revient de la filière éolienne sur l'horizon 2004 à 2010 (en dollars constants) selon un taux annuel de 2,5 %, soit le taux le plus faible de toutes les études considérées.

Par ailleurs, il est à noter que cette réduction du prix de revient de la filière éolienne repose sur des hypothèses d'évolution technologique et que d'autre part, tous les paramètres non technologiques demeurent inchangés par ailleurs, à savoir :

- La disponibilité du financement (coût de l'argent);
- Les conditions fiscales et les aides gouvernementales;
- La législation (quote-part imposé, Kyoto, etc.).

Une modification des paramètres non technologiques pourrait avoir un impact positif ou négatif significatif sur l'évolution du prix de revient de la filière éolienne dans le temps.

Source	Réduction annuelle - Horizon 2010 (%)
Wind Force 10	2.9
Wind Force 12	3.5
BTM Consult ApS	2.5
NREL Low Wind Speed	7.1
EERE/EPRI	3.0

Tableau 2.2 : Prévisions sur la réduction moyenne annuelle du coût de l'énergie éolienne à l'horizon 2010

4. European Wind Energy Association, Forum for Energy and Development, and Greenpeace, (October 1999). Wind Force 10: A Blueprint to Achieve 10% of the World's Electricity from Wind Power by 2020

5. European Wind Energy Association and Greenpeace (2002). Wind Force 12: A Blueprint to Achieve 12% of the World's electricity from Wind Power by 2020.

6. BTM Consult A/S. (March 2003). World Market Update 2002 : Forecast 2003 – 2007.

7. Calvert, S. et al. (2002) Low Wind Speed Technology Development in the U.S. Department of Energy Wind Energy Research Program. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Preprint of Conference Paper (American Wind Energy Association Windpower 2002). Report: NREL/CP-500-32512.

8. Energy Efficiency and Renewable Energy and the Electric Power Research Institute. (1997). Renewable Energy Technology Characterizations.

<http://www.eere.energy.gov/power/techchar.html>

3.0 ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉOLIEN DU QUÉBEC

Ce chapitre vise à déterminer avec la plus grande précision possible, et considérant les contraintes budgétaires et de temps imposées pour le travail, le potentiel éolien du Québec. Pour ce faire, des techniques innovantes reposant sur l'utilisation optimale des techniques informatiques de type SIG (Système d'Information Géographique) et l'utilisation de modèles dynamiques de cartographie des vents ont été utilisés.

Les sections qui suivent traitent donc dans l'ordre :

- i. de la méthodologie développée et utilisée pour évaluer le potentiel technique éolien du Québec;
- ii. d'une présentation des résultats obtenus;
- iii. d'une discussion sur le potentiel technique additionnel du Québec, lequel n'a pas été inclus dans la méthodologie utilisée;
- iv. d'une discussion sur les limites de précision de la méthodologie utilisée.

3.1 LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE ET LES HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

Cette étude vise à déterminer le potentiel éolien technique du Québec sur la base d'hypothèses les plus réalistes possible. La zone d'étude a été déterminées comme étant l'ensemble du territoire du Québec situé au sud du 53^e parallèle. La méthodologie développée pour faire ce travail est présentée sous forme d'organigramme à la figure 3.1 et comprend les étapes définies dans le tableau 3.1 :

Étape	Travail
1	Définition de la zone d'étude
2	Prise en compte, à l'aide du SIG, des contraintes d'occupation du territoire, de la topographie et de l'hydrographie pour cerner le territoire propre au développement éolien
3	Production d'une carte des vents à l'échelle de 1 km pour l'ensemble de la zone d'étude
4	Classification du territoire en fonction du gisement éolien
5	Calcul du territoire propre au développement éolien selon les classes de gisement
6	Configuration d'un parc type, calcul du facteur d'utilisation et détermination du ratio "MW par unité de surface utilisable en km ² "
7	Calcul du potentiel éolien par région administrative pour chacune des classes de gisement (avant contrainte de proximité des lignes de transport)
8	Exclusion du territoire au-delà de 25 km des lignes de transport
9	Calcul du potentiel éolien par région administrative pour chacune des classes de gisement (après contrainte de proximité des lignes de transport)
10	Production de tableaux, figures, et cartes suites aux différentes étapes de traitement

Tableau 3.1 : Méthodologie utilisée pour déterminer le potentiel éolien

En somme, l'application de la méthodologie adoptée pour la présente étude a nécessité l'usage de trois principaux outils de calcul et de traitement des données, soit :

- i. l'outil de traitement du Système d'Information Géographique pour les étapes 2, 4, 5, 7, 8, et 9;
- ii. le modèle de cartographie éolienne à méso échelle pour l'étape 3;
- iii. l'outil de configuration de parc et de calcul du productible pour l'étape 6.

Les sous sections 3.1.1 à 3.1.3 traitent respectivement de ces trois outils.

3.1.1 L'outil de traitement du SIG

L'outil informatique de traitement SIG permet le traitement des différentes couches d'information afin de faire émerger les superficies propres au développement de parcs éoliens.

Les données vectorielles à l'échelle 1 : 250 000 de la BNDT (Banque Nationale de Données Topographiques) sont utilisées pour soustraire du territoire du Québec les zones incompatibles à l'installation d'éoliennes. Les données vectorielles comportent entre autres, la topographie du territoire, l'occupation du terrain et le couvert végétal, les infrastructures électriques et routières, les agglomérations, les zones protégées, etc.

L'outil de traitement SIG est utilisé pour déterminer les contraintes imposées sur le terrain par croisement de couches d'information SIG selon des critères préétablis en se basant sur l'expérience professionnelle d'Hélimax. Les contraintes prises en compte comprennent les agglomérations et zones tampon, les routes et accès, ainsi que les infrastructures et constructions diverses (l'énumération de ces contraintes ainsi que les distances d'exclusion sont données au tableau 3.2).



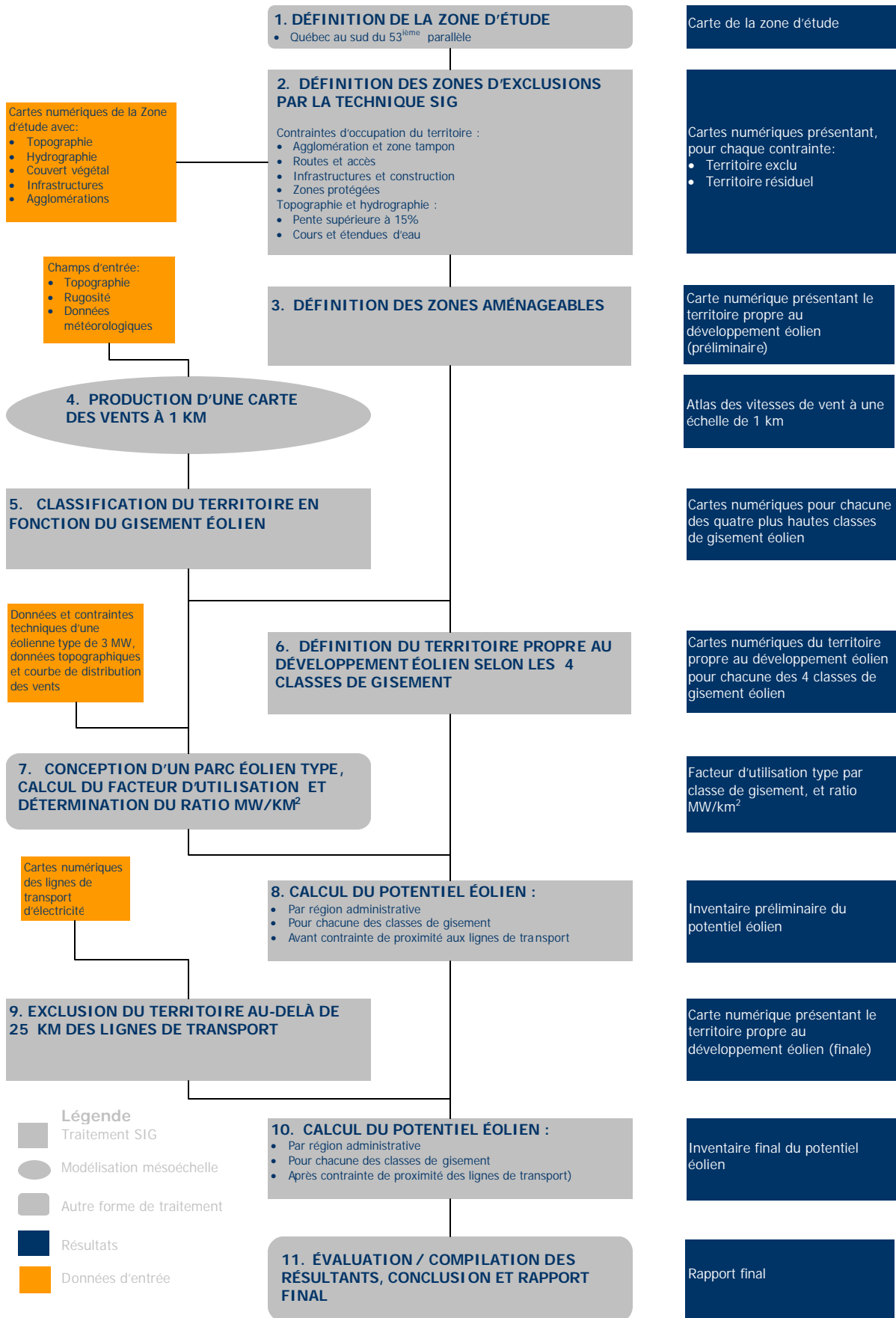


Figure 3.1 : Méthodologie utilisée pour déterminer le potentiel éolien technique du Québec

Les distances d'exclusion appliquées sont celles généralement appliquées dans l'industrie pour des raisons d'impact visuel, sonore ou de règles de sécurité et de bonne pratique industrielle.

À titre d'exemple, une distance d'exclusion est appliquée aux agglomérations des grands centres urbains comme aux petites communautés. Ces distances conservatrices sont jugées objectives de sorte à inclure des parties du territoire occupées par des résidences dispersées non représentées de manière exhaustive sur les couches des données à l'échelle 1 : 250 000.

En plus des zones exclues par ces contraintes, d'autres territoires sont exclus pour tenir compte des contraintes additionnelles suivantes :

- Les zones protégées du territoire du Québec;
- Les terrains dont la pente est supérieure à 15 %. Cette valeur correspond à la valeur au-delà de laquelle la pente est jugée techniquement difficile pour des fins d'implantation de parcs éoliens;
- Les zones situées à plus de 25 km des lignes électriques dont la tension est supérieure ou égale à 44 kV (dans l'hypothèse où la capacité des dites lignes était suffisante pour absorber le potentiel éolien du secteur).

Quant aux champs de vent (voir section 3.1.2), ce dernier est utilisé comme une couche additionnelle d'information afin de tenir compte de la qualité du gisement éolien lors du calcul de la superficie techniquement propre au développement de parcs éoliens.

3.1.2 Le modèle de cartographie éolienne à mésoéchelle

La cartographie éolienne à méso échelle est un système nouvellement utilisé et validé dans l'industrie. Elle permet de prospecter les zones potentielles pour le développement de parcs éoliens à l'échelle régional ou territorial ou produire des atlas des vents comme c'est le cas ici. La cartographie éolienne à méso échelle recèle les avantages de ne pas nécessiter des données de vent de surfaces là où les mâts de mesure sont inexistantes ou en nombre insuffisant et de permettre de simuler les phénomènes météorologiques non reproductibles par les autres modèles dits stationnaires.

La cartographie éolienne à méso échelle simule l'effet climatique à long terme d'un territoire et recrée les conditions des vents à long terme à partir d'un historique de 20 ans ou plus. Les données d'entrée correspondent aux relevés en altitude (par exemple des radiosondes). Des données comme la température, les précipitations, les vitesses et les directions du vent, la pression atmosphérique et d'autres variables sont reconstituées pour chaque jour de l'année. Au terme de la modélisation les données sont compilées et résumées pour les vitesses de vent à différentes hauteurs théoriques de moyen d'éoliennes.

Le noyau du système de cartographie éolienne à méso échelle est le modèle MASS (« Mesoscale Atmospheric Simulation System »). Ce modèle est un modèle atmosphérique dynamique largement commercialement utilisé et appliqué aussi bien en recherche.

Type de contrainte	Distance d'exclusion (m)
Agglomération	2 000
Base d'hydravions	2 000
Canal naviguable	80
Centre de ski	2 000
Chemin de fer	150
Cours d'eau	80
Étangs de toundra	80
Étendue d'eau	80
Fondrière de palse	80
Installions gaz et pétrole	400
Lieu historique/lieu d'intérêt	500
Piste d'envol	4 000
Terrain de camping	700
Terrain de pique-nique	700
Zones d'extraction de minerai	500
Tour de communication	1 000
Route/ autoroute	1 000
Route/ principale	500
Route/ secondaire	150
Route à acces limité	50
Sentier	50
Terres humides	80
Tourbière réticulée	80

Tableau 3.2 : Contraintes prises en compte

Les simulations se font dans un premier temps à une résolution de grille de 5 km puis ramenées par un modèle à micro échelle à une résolution de grille de 1 km pour tenir en compte des effets localisés de la topographie et de la rugosité du sol.

Les modèles de cartographie éolienne à méso échelle demandent une puissance de calcul informatique substantielle. Près d'une centaine de microprocesseurs sont nécessaires pour la modélisation, en quelques semaines, d'un territoire de la grandeur du Québec.

Les données topographiques, de rugosité du sol et météorologiques requises par le modèle pour sa simulation sont respectivement issues de relevés satellitaires de la base de données SRTM30 (« Shuttle Radar Topo Mission 30-arc-second data »), de données satellitaires de la base de données MODIS (avec une résolution de grille de 1 km) et des données « rawinsonde » (données de vitesse et de direction du vent, de la pression atmosphérique, de la température et de l'humidité en altitude prise par des ballons sondes).

Les vitesses de vent sont simulées à trois niveaux au dessus du sol soit 60 m, 80 m et 100 m. La carte 142-02-18-04-04-01 montre la carte des vitesses de vent à une hauteur de 80 m sur le territoire québécois considéré au sud du 53° parallèle.

3.1.3 L'outil de configuration de parcs éoliens

L'outil de configuration de parcs éolien et de calcul du productible permet d'évaluer l'énergie productible par un parc éolien ainsi que les pertes aérodynamiques liées à la configuration du parc (effet de sillage causé par les éoliennes les unes sur les autres). L'énergie est calculée sur la base de données de vent (vitesse, distribution et direction) et des caractéristiques techniques des éoliennes (courbe de puissance, espacement requis entre les éoliennes).

Le régime des vents est caractérisé par une distribution de Weibull type définie par son facteur de forme c dérivé de la vitesse moyenne considérée et son facteur d'échelle k . Le facteur d'échelle k est dépendant du régime des vents dans une zone donnée. Une valeur typique est choisie pour représenter le régime des vents sur le territoire québécois. Des distributions de vitesses de vent sont analysées pour le territoire du nord, de la Gaspésie et du sud du Québec pour adopter une valeur de k égale à 2.1.

Pour les fins de l'étude, une configuration de parc typique a été réalisée sur un terrain de nature accidenté (montagneux) pour déterminer les paramètres de l'évaluation du productible type par classe de vent. La méthodologie a été validée en se basant sur des études de cas concrets de parcs développés ou en cours de développement.

Les éoliennes constituant le parc théorique sont placées à des distances typiques les une des autres et orientées suivant la direction des vents dominants du secteurs considéré pour les fins du calcul.

La hauteur du moyeu des éoliennes est prise égale à la hauteur de simulation du vent de 80 m. Cette hauteur typique est répandue dans l'industrie éolienne.

Deux types d'éolienne ont été considérés dans les calculs. Une éolienne réputée adéquate aux sites à faible régime de vent (pour les deux classes de vent comprises entre 6 et 8 m/s) et une autre destinée aux vitesses de vent plus élevées (pour les autres classes de vitesses de vent de 8 m / s et plus). Ce choix objectif tient compte de la sélection réelle de types d'éoliennes selon le régime des vents sur le site sous étude.

La capacité de l'éolienne type considérée est prise égale à 3,0 MW en se basant sur les hypothèses de l'évolution de la taille des éoliennes (voir section 2.2).

L'évaluation du productible d'un parc éolien peut être exprimé par le Facteur d'utilisation qui est défini comme le rapport :

$$FU = \frac{\text{Énergie nette produite par le parc éolien}}{8760 \text{ (heures)} \times \text{Puissance installée}}$$

L'énergie nette produite par le parc éolien est l'énergie livrée au réseau électrique. Les pertes appliquées à l'énergie brute produite par le parc correspondent aux éléments suivants :

- Pertes par effet de sillage des éoliennes les une sur les autres;

- Pertes électriques et de disponibilité du réseau;
- Pertes dues à la non disponibilité des éoliennes;
- Pertes aérodynamiques par encrassement des pales et par la glace;
- Autres pertes résiduelles.

Le tableau 3.3 donne un résumé des résultats des calculs pour les différentes classes de vent pour un parc éolien typique. Tel que définis ci-dessus, V est le centre de la classe des vitesses de vent, k est le facteur de forme de la distribution de Weibull utilisée, F_{sillage} et F_{pertes} sont respectivement les pertes considérées pour l'évaluation de l'énergie nette productible par le parc éolien type et FU représente le facteur d'utilisation sachant que :

$$\text{Énergie nette produite par le parc éolien} = \left(\begin{array}{l} \text{Énergie brute du parc} \\ - \text{Pertes}_{\text{sillages}} \\ - \text{Pertes}_{\text{autres facteurs}} \end{array} \right)$$

La configuration de parc ci-dessus a abouti au ratio de 12 MW/km² de territoire propre au développement de parc éolien. Ce ratio est utilisé pour la détermination du potentiel éolien technique du territoire québécois.

V (m/s)	k	F _{sillage}	F _{pertes}	FU
6,5	2,1	6%	9,2%	28,4%
7,5	2,1	6%	9,2%	33,5%
8,5	2,1	6%	9,2%	38,6%
9,5	2,1	6%	9,2%	43,6%

Tableau 3.3 : Résultat des calculs pour différentes classes de vents : parc éolien typique

3.2 SOMMAIRE DES RÉSULTATS OBTENUS

La première étape de la méthodologie décrite à la section précédente consiste à définir la Zone d'étude. Cette dernière, présentée à la carte 142-01-18-04-04-01, comprend l'ensemble du territoire du Québec situé au sud du 53^{ième} parallèle.

Nous avons jugé qu'il pourrait être intéressant de répertorier le potentiel éolien technique du Québec par secteur géographique. Pour cette raison, nous avons divisé la Zone d'étude selon les 17 régions administratives du Québec telles qu'énumérées plus bas par ordre alphabétique, pour lesquelles les limites de territoire sont aussi présentées à la carte 142-01-18-04-04-01:

- Abitibi-Témiscamingue (08);
- Bas-Saint-Laurent (01);
- Centre-du-Québec (17);
- Chaudière-Appalaches (12);
- Côte-Nord (09);
- Estrie (05);
- Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11);
- Lanaudière (14);
- Laurentides (15);
- Laval (13);
- Mauricie (04);
- Montérégie (16);
- Montréal (06);
- Nord-du-Québec (10);
- Outaouais (07);
- Québec (03);
- Saguenay-Lac-Saint-Jean (02).

En plus de la limite des régions administratives, la carte 142-01-18-04-04-01 présente certains repères et informations utiles (municipalités, frontières, ...), dont l'emplacement des lignes de transport d'électricité, lesquelles serviront à discriminer le potentiel éolien de certains secteurs.



Carte 142-01-18-04-04-01

3.2.1 Cartographie et classification du gisement éolien

Tel que proposé à l'étape 4 de la méthodologie, la cartographie des vents a été réalisée pour l'ensemble de la Zone d'étude et ce, à une résolution de un kilomètre. Les cartes ci-incluses portant les no. 142-02-18-04-04-01 (page suivante) et 142-03-18-04-04-01 (située dans une pochette à la fin du présent rapport) quantifient le gisement éolien de la Zone d'étude sous forme de vitesse de vent estimée pour une hauteur de moyeu d'éolienne de 80 mètres. Les vitesses de vent sont présentées selon une gradation de couleur intuitive allant du vert au rouge, indiquant des vitesses de 5 m/s à plus de 9 m/s.

Les informations générées par cette carte des vents ont par la suite été traitées à l'aide de l'outil SIG afin de trier la Zone d'étude selon différentes classes de vent tel que le présente schématiquement la figure 3.2.

Ainsi, les cartes de vent qui suivent ont pu être produites pour chacune des classes de vent jugées acceptables. Elle serviront plus loin lors de la classification du potentiel éolien du Québec :

No. de la carte	Nom de la carte	Qualité du gisement
Carte 142-04-18-04-04-01	Cartographie de la classe de vent de 6 à 7 m/s	Acceptable
Carte 142-05-18-04-04-01	Cartographie de la classe de vent de 7 à 8 m/s	Très bon
Carte 142-06-18-04-04-01	Cartographie de la classe de vent de 8 à 9 m/s	Excellent
Carte 142-07-18-04-04-01	Cartographie de la classe de vent de 9 m/s et plus	Exceptionnel

Tableau 3.4 : Cartes des vents produites pour chacune des classes de vents acceptables

3.2.2 Calcul du potentiel éolien

Tel que proposé aux étapes 2 et 3 de la méthodologie, l'ensemble de la zone d'étude a été traitée à l'aide de l'outil SIG afin d'exclure le territoire non approprié au développement éolien et ce, sur la base de contraintes d'occupation du territoire, de topographie et d'hydrographie.

Par la suite, l'étape 6 consistait à calculer la superficie du territoire propre au développement éolien pour chacune des 4 classes de gisement éolien mentionnées plus haut. À l'aide du ratio MW/km² calculé lors de l'étape 7 de la méthodologie, nous avons pu lors de l'étape 8 calculer le potentiel éolien en terme de puissance nominale techniquement aménageable pour chacune des 4 classes de gisement pour l'ensemble de la Zone d'étude et par région administrative. Finalement, la production annuelle techniquement réalisable a aussi pu être calculée à l'aide du facteur d'utilisation déterminé pour chacune des classes de gisement, soit :

- 28,4% pour un gisement de classe acceptable (6 à 7 m/s);
- 33,5% pour un gisement de très bonne qualité (7 à 8 m/s);
- 38,6 % pour un gisement d'excellente qualité (8 à 9 m/s);
- 43,6 % pour un gisement de qualité exceptionnelle (plus de 9 m/s).

Il est à noter que tous ces calculs ont été faits sans tenir compte de la distance du territoire propre au développement éolien par rapport aux lignes de transport d'électricité. Une étape de traitement SIG additionnelle (étapes 9 et 10) a donc été ajoutée afin de déterminer l'impact qu'aurait l'ajout d'une contrainte additionnelle eu égard au réseau de transport d'électricité. Plus particulièrement, nous avons quantifié la réduction du potentiel éolien lorsque le territoire propre au développement doit se situer à l'intérieur d'un rayon de 25 km des lignes de transport d'électricité existantes.

Le tableau 3.5 présente une synthèse des résultats obtenus en terme de potentiel éolien pour chacune des 4 classes de vent alors que les figures 3.3 et 3.4 présentent une synthèse graphique des résultats pour les 3 classes de vent jugées probablement viables sur la plan économique à court et moyen terme. Par ailleurs, le tableau 3.6 donne les résultats détaillés par région administrative.

Carte 142-02-18-04-04-01

Carte 142-04-18-04-04-01

Carte 142-05-18-04-04-01

Carte 142-06-18-04-04-01

Carte 142-07-18-04-04-01

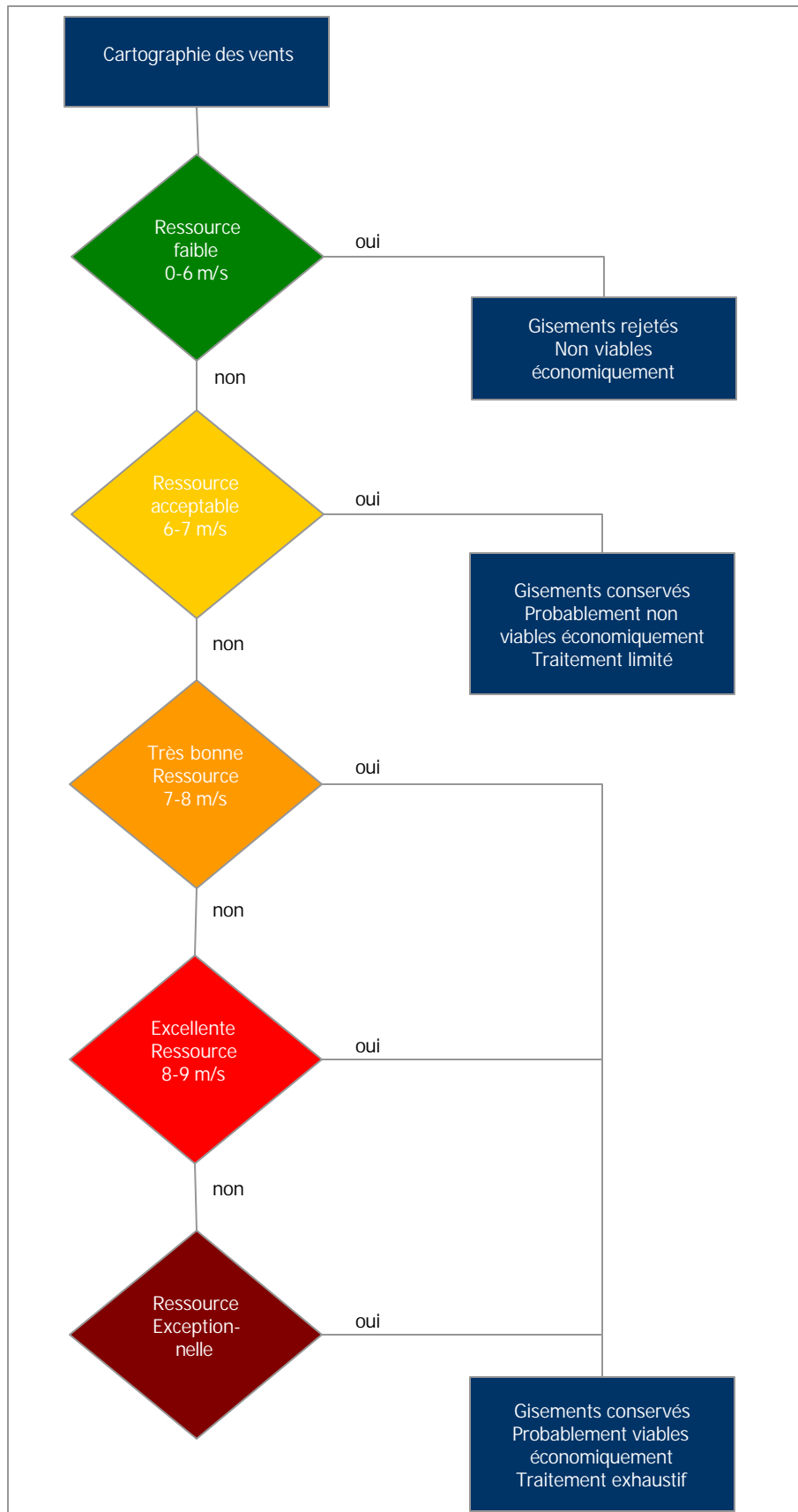


Figure 3.2 : Classification du territoire en fonction de gisement éolien et du niveau de traitement

Information	Regroupement de classes						
	Rejetés et non-viables économiquement		Conservés et non-viables économiquement		Conservés et viables économiquement		
	Faible (0 à 6 m/s)	Faible (6 à 7 m/s)	Très bon (7 à 8 m/s)	Excellent (8 à 9 m/s)	Exceptionnel (9 m/s et plus)	Total pour les régions conservées (7 m/s et plus)	
Superficie du territoire (km²)	1 089 283	344 759	66 742	8 289	362	75 393	
Surface propre au développement éolien (km²)							
- Avant contrainte de distance des lignes de transport	s/o	165 802	29 932	4 570	121	34 623	
- À moins de 25 km des lignes de transport	s/o	75 041	8 130	320	1	8 451	
Potentiel technique (MW)							
- Avant contrainte de distance des lignes de transport	s/o	1 989 624	359 184	54 840	1 452	415 476	
- À moins de 25 km des lignes de transport	s/o	900 492	97 560	3 840	12	101 412	
Facteur d'utilisation (%)	s/o	28,4	33,5	38,6	43,6	s/o	
Potentiel technique (TWh / année)							
- Avant contrainte de distance des lignes de transport	s/o	4950	1054	185	6	1 245	
- À moins de 25 km des lignes de transport	s/o	2240	286	13	0	299	

Tableau 3.5 : Synthèse des résultats obtenus en terme de potentiel éolien pour chacune des 4 classes de vent

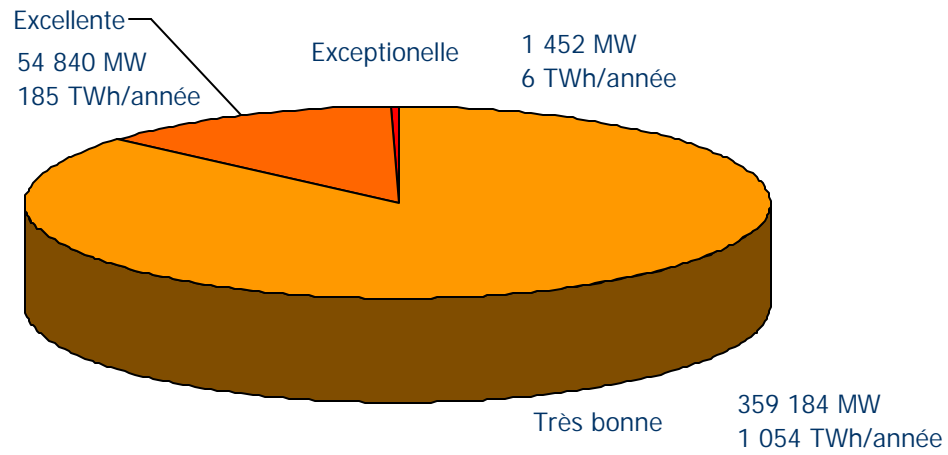


Figure 3.4 : Répartition du potentiel éolien selon la classe des vents (sans contrainte de distance des lignes de transport)

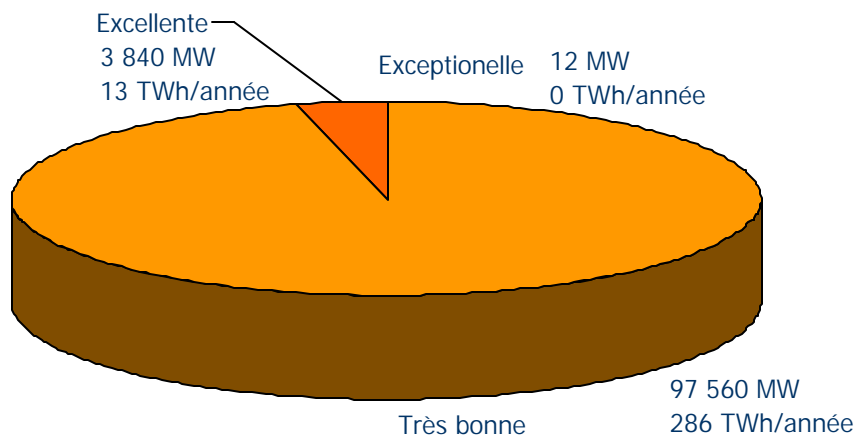


Figure 3.5 : Répartition du potentiel éolien selon la classe des vents (après contrainte de distance des lignes de transport)

Région administrative	Surface brute (km ²)			Territoire propre au développement éolien									Potentiel éolien					
	Avant contrainte de distance de lignes de transport (km ²)			A moins de 25 km de lignes de transport (km ²)			Avant contrainte de distance de lignes de transport (MW)			A moins de 25 km de lignes de transport (MW)								
	7 à 8 m/s	8 à 9 m/s	9 m/s et plus	7 à 8 m/s	8 à 9 m/s	9 m/s et plus	7 à 8 m/s	8 à 9 m/s	9 m/s et plus	7 à 8 m/s	8 à 9 m/s	9 m/s et plus	7 à 8 m/s	8 à 9 m/s	9 m/s et plus			
Abitibi-Témiscamisque	435	0	0	22	0	0	21	0	0	0	264	0	0	252	0	0		
Bas-Saint-Laurent	4 718	111	1	1 772	9	0	1 633	9	0	0	21 264	108	0	19 596	108	0		
Centre-du-Québec	344	0	0	129	0	0	129	0	0	0	1 548	0	0	1 548	0	0		
Chaudière-Appalaches	1 264	12	0	470	4	0	469	4	0	0	5 640	48	0	5 628	48	0		
Côte-Nord	24 799	4 496	24	13 570	3 095	19	2 990	156	1	162 840	37 140	228	35 880	1 872	12	12		
Estrie	376	37	1	126	2	0	83	1	0	1512	24	0	996	12	0	0		
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	3 324	592	177	1 231	133	0	1 205	131	0	14 772	1 596	0	14 460	1 572	0	0		
Lanaudière	40	0	0	13	0	0	4	0	0	156	0	0	48	0	0	0		
Laurentides	50	0	0	14	0	0	14	0	0	168	0	0	168	0	0	0		
Laval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mauricie	1 251	97	0	173	29	0	94	10	0	2 076	348	0	1 128	120	0	0		
Montréal	4 016	5	0	983	0	0	983	0	0	11 796	0	0	11 796	0	0	0		
Montréal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Nord-du-Québec	18 407	2 429	132	8 916	1 080	83	202	0	0	106 992	12 960	996	2 424	0	0	0		
Outaouais	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Québec	1 984	107	0	128	5	0	128	5	0	1 536	60	0	1 536	60	0	0		
Saguenay - Lac-Saint-Jean	5 658	403	27	2 385	213	19	175	4	0	28 620	2 556	228	2 100	48	0	0		
Total du Québec	66 742	8 289	362	29 932	4 570	121	8 130	320	1	359 184	54 840	1452	97 560	3 840	12	12		

Tableau 3.6 : Résultats détaillés par région administrative

3.2.3 Traitement exhaustif et discussion des résultats

Il est important de mentionner à cette étape que les chiffres présentés sous le qualificatif de « potentiel technique » ne tiennent pas compte de certaines contraintes pouvant entrer en ligne de compte lors du développement d'un projet éolien et ainsi réduire considérablement ce potentiel technique par rapport au « potentiel réel » pouvant éventuellement être réalisé. Le ratio entre le potentiel technique et le potentiel réel, exprimé à la section 3.4 comme étant le « facteur de succès », pourra varier considérablement d'une région et d'un site à l'autre, réduisant plus ou moins le potentiel éolien réel du Québec et de ses différentes régions.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées du tableau 3.5 :

- L'ensemble de la Zone d'étude comprend plus de 843 000 km², soit 55 % de l'ensemble du territoire québécois (lequel comprend 1 533 360 km²). 45 % du territoire québécois n'a donc pas été pris en compte dans la présente étude.
- La superficie de la Zone d'étude rejetée à cause de la faiblesse de son gisement éolien (0 à 6 m/s) représente 50% de la superficie de l'ensemble de la Zone d'étude, alors que la superficie du territoire caractérisé par des vitesses de vent de 6 à 7 m/s (considérés comme étant probablement non viables économiquement à court-moyen terme) représente 41 % de la Zone d'étude, laissant environ 9 % de la Zone d'étude avec des vents de 7 m/s et plus.
- Le potentiel éolien caractérisé par un gisement éolien de 6 à 7 m/s est gigantesque, avec une puissance technique de près de 2 millions de MW et 900 000 MW sans contrainte de distance des lignes de transport et à l'intérieur de 25 km des lignes de transport respectivement. Ce potentiel gigantesque s'explique par la très grande superficie du territoire québécois et plus particulièrement la superficie caractérisée par cette classe de gisement.
- Le potentiel éolien technique jugé économiquement viable à court-moyen terme (vents de 7 m/s et plus) et situé à 25 km et moins des lignes de transport existantes est tout à fait considérable, soit de plus de 100 000 MW, pour une production technique annuelle de 299 TWh. Une telle production équivaut à la production d'un parc de centrales thermiques totalisant plus de 35 000 MW de puissance installée sur la base d'un facteur d'utilisation de 95 %.
- Si seulement le potentiel éolien caractérisé par des vitesses de 8 m/s et plus pouvait être considéré dans un premier temps (dans l'éventualité d'une non-viabilité économique du potentiel éolien situé dans une zone de 7 à 8 m/s), le potentiel éolien technique demeurerait alors tout de même très considérable. En effet, ce potentiel atteint près de 4 000 MW si l'on tient compte de la contrainte de 25 km des lignes de transport. Par ailleurs, ce potentiel technique augmente à plus de 60 000 MW dans le cas où la construction de lignes de transport donnant accès à tout le potentiel répertorié pouvait être justifiée.

- Le potentiel éolien technique à moins de 25 km des lignes de transport représenté par la classe de vent considérée comme exceptionnelle (9 m/s et plus) est très négligeable. Ce potentiel est toutefois relativement intéressant (1 452 MW) lorsque la contrainte de 25 km des lignes de transport est éliminée. Ce potentiel, **localisé pour l'essentiel**, pourrait justifier à lui seul la construction d'une ligne de transport dédiée considérant que ce gisement permet d'atteindre le prix de revient le plus faible tel que démontré au chapitre 4.

Par ailleurs, le tableau 3.6 présente plusieurs informations intéressantes, lesquelles peuvent se résumer comme suit selon la classe de vent :

Vitesse des vents de 7 à 8 m/s (très bon gisement) :

- Les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec recèlent un potentiel phénoménal avec près de 270 000 MW de potentiel technique. La très grande majorité (86 %) de ce gisement est toutefois situé à plus de 25 km des lignes de transport. Le facteur de succès pour établir le potentiel réel de ces régions est probablement très élevé considérant la faible densité de population, laissant présager en un potentiel réel phénoménal pour ces régions dans l'éventualité où l'énergie éolienne produite pouvait être acheminée de manière économiquement viable aux centres de consommation.
- Les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine recèlent, comme prévu, un très grand potentiel technique avec plus de 35 000 MW, pour l'essentiel (95 %) situé à moins de 25 km des lignes de transport existantes. Le facteur de succès de ces régions devrait toutefois être plus faible que pour les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec considérant la plus forte densité de population et l'importance de l'industrie touristique pour ces régions.
- Le potentiel technique de la région administrative du Saguenay-Lac-Saint-Jean est considérable (28 620 MW) et pour la plupart situé à proximité des lignes de transport (94 %). Le facteur de succès de ce potentiel est **probablement** considérant que le potentiel est pour la plupart situé dans le secteur de
- La région de la Montérégie recèle un potentiel technique non négligeable de près de 12 000 MW, lequel est entièrement à moins de 25 km des lignes de transport d'électricité. Un facteur de succès probablement assez faible devrait être appliqué à ce potentiel considérant la valeur des terres et la forte densité de population. Un potentiel réel non négligeable pourrait toutefois en résulter.

Les figures 3.5 et 3.6 résument sous forme graphique la distribution du potentiel éolien technique par région.

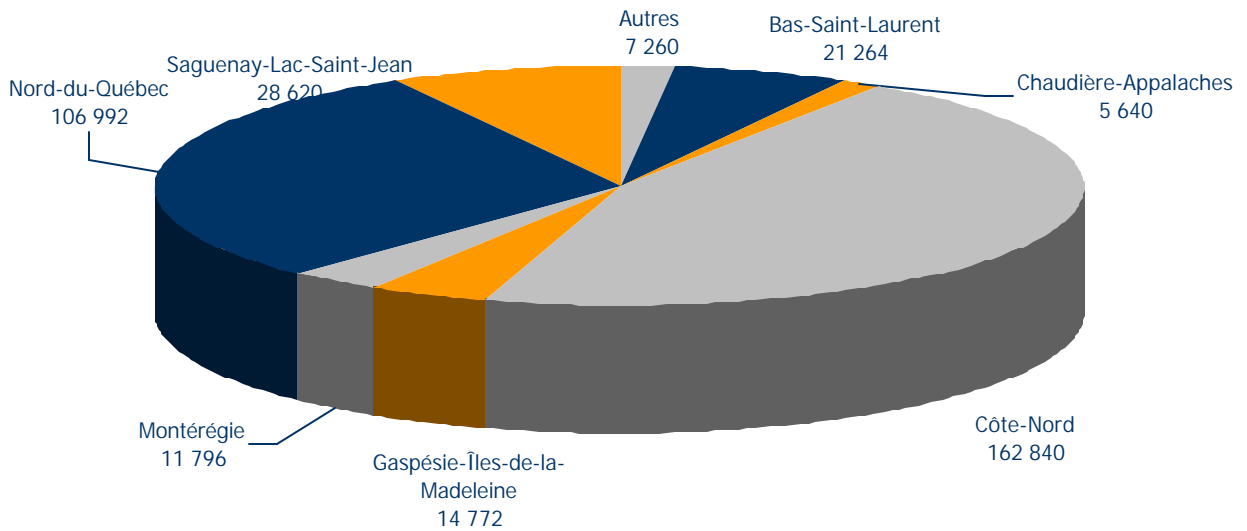


Figure 3.5 : Répartition du potentiel éolien de 7 à 8 m/s par région administrative (avant contrainte de distance des lignes de transport)

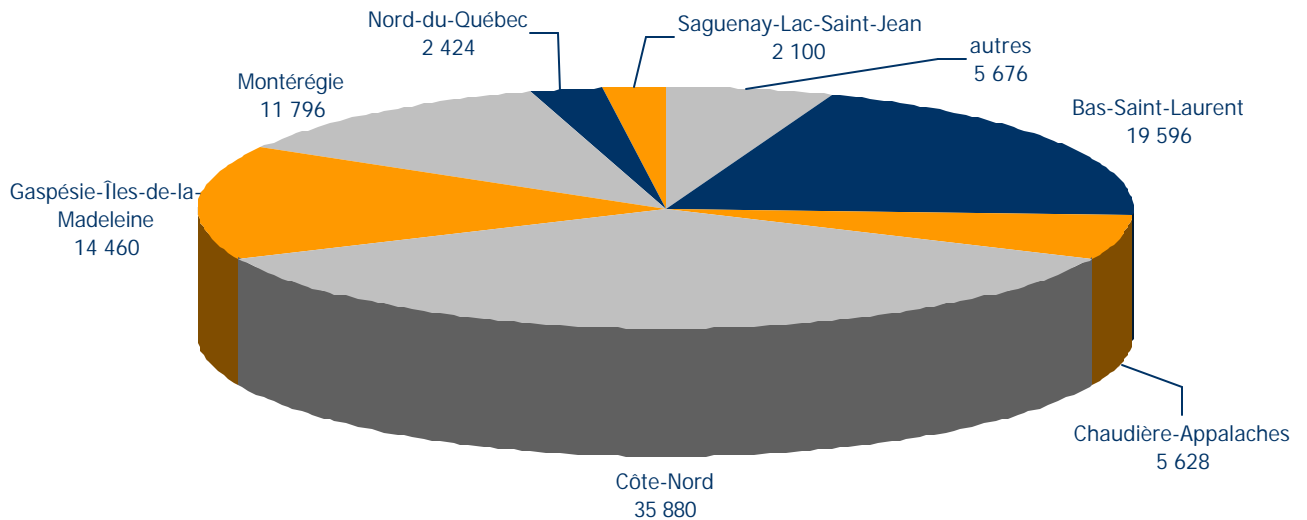


Figure 3.6 : Répartition du potentiel éolien de 7 à 8 m/s par région administrative (à moins de 25 km des lignes de transport)

Vitesse des vents de 8 à 9 m/s (excellent gisement) :

- Les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec recèlent encore pour cette classe de vent un potentiel phénoménal avec plus de 50 000 MW de potentiel technique. La très grande majorité (96 %) de ce gisement est toutefois située à plus de 25 km des lignes de transport. Le facteur de succès pour établir le potentiel réel de ces régions est probablement très élevé considérant la faible densité de population, laissant présager un potentiel réel phénoménal pour cette région dans l'éventualité où l'énergie éolienne produite pouvait être acheminée de manière économiquement viable aux centres de consommation.
- La région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine recèle un bon potentiel technique mais significativement moindre que pour la classe des vents de 7 à 8 m/s, avec plus de 1 500 MW de potentiel, presque entièrement situé à moins de 25 km des lignes de transport existantes. Le facteur de

succès de cette région devrait toutefois être plus faible que pour les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec considérant la plus forte densité de population et l'importance de l'industrie touristique pour ces régions.

- Le potentiel technique de la région administrative du Saguenay-Lac-Saint-Jean est encore pour cette classe de vents considérable (plus de 2 500 MW) mais pour la plupart à plus de 25 km des lignes de transport (98 %). **Le facteur de succès de ce potentiel est probablement _____ considérant que le potentiel est pour la plupart situé dans le secteur de _____**

Aucune autre région ne recèle de potentiel technique significatif dans cette classe de vent

Les figures 3.7 et 3.8 résument sous forme graphique la distribution du potentiel éolien technique par région.

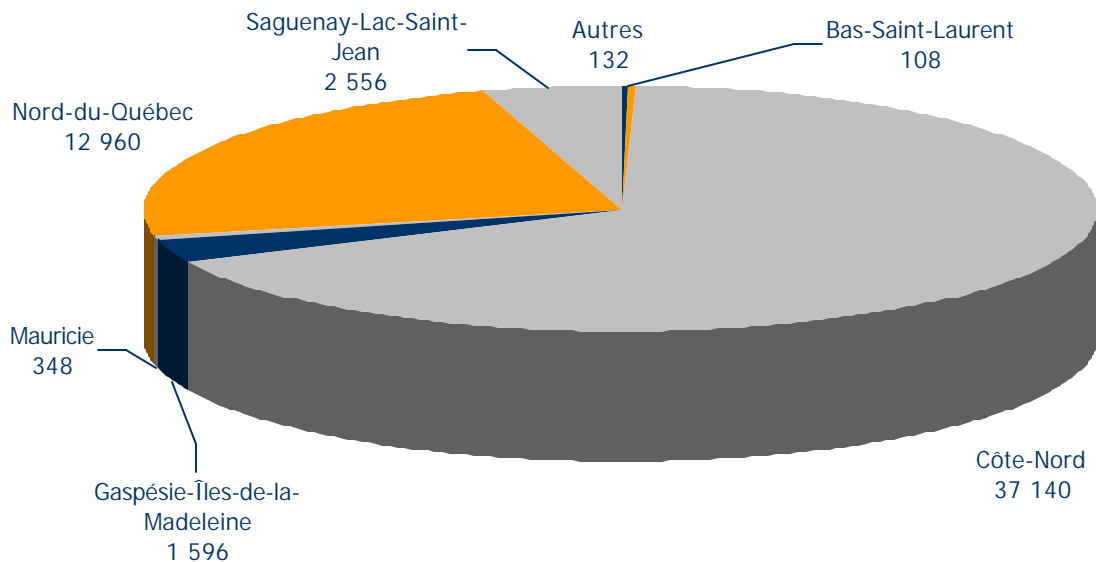


Figure 3.7 : Répartition du potentiel éolien de 8 à 9 m/s par région administrative (avant contrainte de distance des lignes de transport)

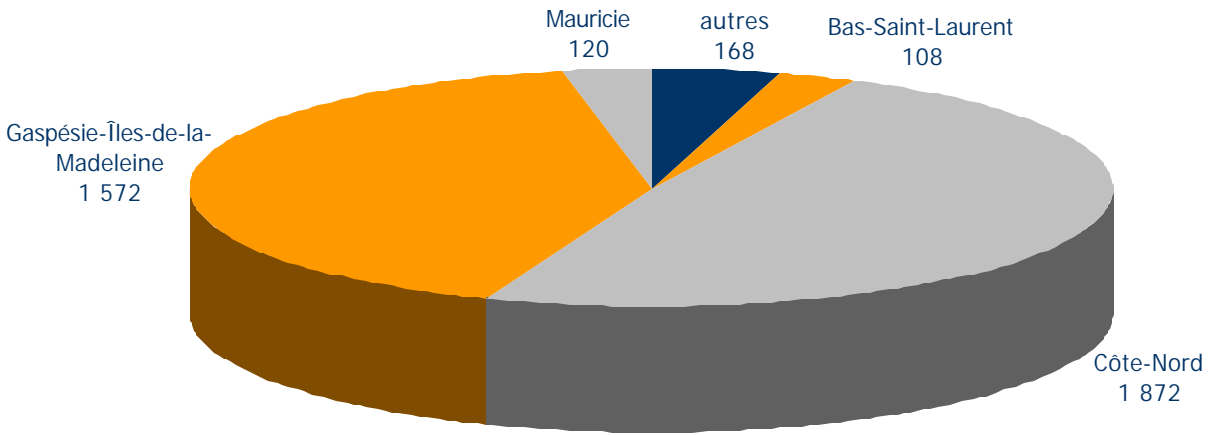


Figure 3.8 : Répartition du potentiel éolien de 8 à 9 m/s par région administrative (à moins de 25 km des lignes de transport)

Vitesse des vents de 9 m/s et plus (gisement exceptionnel) :

- Seules les régions de la Côte-Nord et du Nord du Québec recèlent un potentiel technique considérable pour cette classe de vent soit plus de 1 000 MW de potentiel technique, presque entièrement (99 %) situé à plus de 25 km des lignes de transport. Comme pour les classe de vents plus faible, le facteur de succès pour établir le potentiel

réel de ces régions est probablement très élevé considérant la faible densité de population, laissant présager en un potentiel réel phénoménal pour cette région dans l'éventualité où l'énergie éolienne produite pourrait être acheminée de manière économiquement viable aux centres de consommation.

La figure 3.9 résume sous forme graphique la distribution du potentiel éolien technique par région.

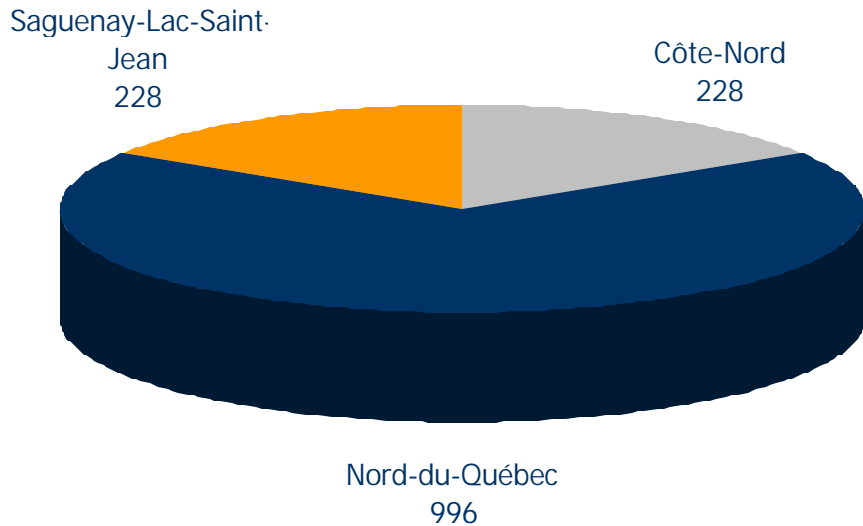


Figure 3.9 : Répartition du potentiel éolien de 9 m/s et plus par région administrative

3.3 DISCUSSION SUR LE POTENTIEL NON INCLUS DANS LA MÉTHODOLOGIE DE BASE

Tel que démontré à la section précédente, le potentiel éolien technique répertorié dans la Zone d'étude est tout à fait phénoménal en terme de qualité du gisement mais plus particulièrement en terme de puissance nominale pouvant techniquement être installée et par conséquent d'électricité pouvant être produite. Un facteur de succès doit être appliqué afin de traduire ce potentiel technique en potentiel réel, mais il est évident que le potentiel réel demeure lui aussi tout à fait exceptionnel, et bien au-delà des besoins additionnels futurs à court et moyen terme (voire à long terme) des consommateurs québécois.

Par surcroît, ce potentiel n'inclut pas le potentiel pouvant se retrouver au nord du 53^e parallèle ni le potentiel en mer (« off-shore »), lesquels méritent tout de même d'être abordés brièvement.



3.3.1 Potentiel au nord du 53^e parallèle

Tout le potentiel situé au nord de la Zone d'étude, laquelle correspond à 45 % de la superficie du Québec, n'a pas été évalué et pourrait s'avérer très important, bien que l'exploitation de cette région nécessiterait l'extension du réseau de transport d'électricité.

D'ailleurs, et comme le démontre la cartographie du gisement éolien du Québec (carte no. 142-02-15-04-04-01), un gisement très important en terme de qualité, avec des vitesses de plus de 8 m/s, mais aussi en terme de quantité, apparaît clairement au nord-est de la Zone d'étude, soit à partir du parallèle et en direction de la frontière du Labrador vers l'est. Ce gisement d'excellente qualité est présent jusqu'à la limite nord de la Zone d'étude et devrait normalement s'étendre au-delà du 53^e parallèle.

3.3.2 Potentiel en mer

Par « potentiel éolien en mer », on entend le potentiel d'aménagement de parcs éoliens sur les plans d'eau de superficie suffisamment grande. Ces superficies peuvent se retrouver à l'intérieur des terres aussi bien qu'à proximité des côtes du Québec.

Comme on peut le constater à la lecture de la méthodologie utilisée, le calcul du potentiel éolien technique exclut entre autres les plans d'eau, où la vitesse du vent est généralement



de qualité très bonne à excellente (voire exceptionnelle). On peut considérer dans cette catégorie les plans d'eau à l'intérieur des terres ainsi que les plans d'eau le long des côtes comme le long du fleuve Saint-Laurent, le golf du Saint-Laurent, la Baie des Chaleurs et la Baie James.

Le développement de parcs éoliens en mer a joué un grand rôle dans le développement de la technologie d'éoliennes de grandes tailles. Les principales motivations qui ont entraîné le développement de la technologie en mer sont :

- Le manque d'espace sur terre renfermant un bon gisement éolien (Europe);
- L'augmentation significative des régimes de vent en mer comparativement aux sites sur terre.

Les parcs éoliens en mer ont tous vu le jour en Europe et depuis les tous premiers parcs, la technologie n'a cessé d'évoluer et commence aujourd'hui à gagner en maturité et compétitivité. Cette option gagne de plus en plus de terrain là où le gisement éolien le justifie. À première vue, le potentiel éolien en mer du Québec devrait être significatif et à considérer dans l'éventualité où cette option devenait un jour plus avantageuse que l'éolien sur terre.

Même si le potentiel en mer tel que défini ci-dessus n'a pas été inventorié dans le potentiel éolien technique, il demeure intéressant de présenter spécifiquement et sous forme de carte la qualité du gisement éolien québécois en mer. Ainsi, la carte no. 142-09-15-04-04-01 est offerte, à titre indicatif, afin de présenter la qualité du gisement éolien des zones potentielles de développement de parcs éoliens en mer. Une étude plus approfondie des conditions de réalisation de cette option est toutefois requise afin de statuer sur le potentiel éolien réel en mer du Québec.

3.4 DISCUSSION SUR LES LIMITES DE LA MÉTHODOLOGIE

Les résultats présentés à la section 3.2 traitent du « potentiel éolien technique » du Québec, lequel tient compte de plusieurs contraintes importantes dont l'occupation du territoire (agglomération et zones tampons, routes et accès, infrastructures et construction, zones protégées), la topographie (les secteurs où la pente excède 15 % sont exclus) et l'hydrographie (les plans d'eau sont exclus).

L'ensemble de ces contraintes retranche ___% de la superficie de la Zone d'étude. Par ailleurs, la superficie où la qualité des vents est jugée trop faible (6 m/s et moins) est aussi rejetée, ce qui représente 50 % de la superficie de la Zone d'étude. La combinaison des contraintes citées plus haut laisse ___ % du territoire de la Zone d'étude propre au développement éolien, duquel une discrimination est par la suite faite pour tenir compte du potentiel éolien technique avant ou après contrainte de distance des lignes de transport d'électricité (moins de 25 km).

Nous croyons que l'ensemble de ces contraintes permet d'établir de manière conservatrice le potentiel éolien technique du Québec. Un facteur de succès doit toutefois être appliqué afin de traduire de potentiel éolien technique en « potentiel éolien réel ».

Ce facteur de succès variera d'une région à l'autre et d'un site à l'autre afin de tenir compte des contraintes d'implantation spécifique à chaque projet et pour chaque région. Ces contraintes spécifiques peuvent entre autre inclure :

- La non disponibilité des terrains pour cause d'un refus de leur propriétaire d'y voir installer des éoliennes. Il est à noter toutefois que 92 % du territoire québécois est du domaine public, en particulier dans les Régions administrative à très fort potentiel éolien.
- La non disponibilité des terrains pour cause de revendications territoriales potentiellement conflictuelles.
- L'identification de contraintes environnementales spécifiques à l'emplacement retenu pour chaque projet (impact visuel, corridor de migration, site archéologiques, impact sonore, conflit d'usage,...).
- L'incapacité du réseau de transport d'électricité à absorber la production éolienne (dans lequel cas le réseau pourrait en fait être renforcé. Il s'agit donc d'une contrainte économique plutôt que technique).
- Inexistence de route d'accès aux zones éloignées (encore là, des routes pourraient être construite. Il s'agit donc d'une contrainte économique).



4.0 PRIX DE REVIENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE DE SOURCE ÉOLIENNE

Le présent chapitre a pour objectif d'évaluer les prix de revient de l'électricité produite de source éolienne pour la période allant de 2004 à 2010. Ces prix de revient sont calculés pour des projets typiques de 100 MW réalisés sur des sites ayant une qualité de gisement éolien allant d'acceptable à excellente.

À cet effet, nous exposerons d'abord les hypothèses utilisées incluant les valeurs retenues pour l'analyse financière, et présenterons ensuite les résultats, accompagnés d'une analyse exhaustive de sensibilité.

4.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL UTILISÉES

Le calcul des prix de revient par kWh d'électricité de source éolienne sera effectué pour chacune des quatre classes de gisement retenues pour des projets mis en service en 2004, 2006, 2008 et 2010, et ce, selon un ensemble d'hypothèses, à savoir :

- Les hypothèses techniques au tableau 4.1;
- Les hypothèses budgétaire, économique et fiscale au tableau 4.2;
- Les hypothèses de financement au tableau 4.3.

Ces hypothèses et valeurs sont expliquées après chaque tableau et appuyées par diverses sources d'information fiables et reconnues dans l'industrie éolienne, y compris celles basées sur l'expertise et l'expérience d'Hélimax en la matière.

Paramètre	Valeur	Unité	Note
Capacité installée moyenne par projet	100	MW	1
Nombre d'éoliennes	25 à 50	Unité	1
Puissance unitaire moyenne des éoliennes	2,0 à 4,0	MW	1
Facteur d'utilisation (FU) moyen			2
– Classe acceptable	28,4	%	
– Classe Bonne	33,5	%	
– Classe Très bonne	38,6	%	
– Classe Excellente	43,6	%	
Production annuelle d'électricité			2
– Classe acceptable	248 784	MWh	
– Classe Bonne	293 460	MWh	
– Classe Très bonne	338 136	MWh	
– Classe Excellente	381 936	MWh	
Durée de vie du projet	25	Ans	3
Coefficient d'ajustement de la production- Année 1	90	%	4
Facteur d'émissions de la production marginale d'électricité	600	tCO ₂ e	5
Prix de vente de réduction d'émissions générées	0	\$Can 2004	5

Tableau 4.1 : Hypothèses techniques des projets éoliens

Notes explicatives pour le tableau 4.1:

1. Taille moyenne des projets et des éoliennes

Les projets éoliens types pourraient accueillir des parcs d'une taille variant entre 50 MW et quelques centaines de MW. Nous avons retenu comme hypothèse une taille moyenne de 100 MW par parc éolien dans le cadre de la présente analyse financière.

Quant à la taille des machines à être installée au Québec, nous avons retenu comme hypothèse qu'elle varierait entre 2,0 MW et 4,0 MW sur la période 2004 à 2010. Il est à noter que des machines de 3,6 MW sont actuellement en opération commerciale dans le monde alors que des machines de 4,0 à 5,0 MW sont déjà à l'étape de développement commercial.

2. Facteurs d'utilisation et production annuelle d'électricité

Les productions annuelles d'électricité et les facteurs d'utilisation (FU) calculés pour chacune des quatre classes de gisement dans les chapitres précédent sont ceux utilisés pour fin de l'analyse financière.

3. Durée de vie du projet

La durée de vie du projet est basée sur la durée de vie utile des éoliennes disponibles sur le marché, à savoir de l'ordre de 25 ans.

4. Coefficient d'ajustement de la production à l'année 1

Le coefficient d'ajustement de la production d'électricité vise à tenir compte de la courbe d'apprentissage caractérisant la première année d'opération de la plupart des projets. Ceci signifie que la production annuelle de la première année est équivalente à 90 % de celle des années 2 à 25.

5. Facteur d'émission de la production marginale d'électricité

Le facteur d'émission de la production marginale d'électricité est basé sur la technologie des centrales au gaz à cycle combiné produisant des émissions de l'ordre de **XXX** tonnes de CO₂ équivalent par GWh. Toutefois, aucun revenu n'a été considéré dans l'analyse financière au chapitre de la vente des crédits carbone pouvant résulter des projets éoliens. Une estimation de la valeur des crédits carbone en cent par kWh sur la durée de vie des projets éoliens sera donnée à titre indicatif dans la section sur l'analyse de sensibilité.

Paramètre	Valeur	Unité	Note
Coût total d'investissement par MW installé en 2004	1 700 000	\$Can 2004	1
Dépenses annuelles d'opération et d'entretien (O&M) à la première année d'un projet débutant en 2004	1,5	¢ 2004 / kWh	2
Taux annuel de réduction des coûts d'investissement et des dépenses O & M pour tenir compte du gain technologique sur l'horizon 2004 à 2010	2,5	%	3
Taux annuel d'inflation sur les coûts d'investissement sur les dépenses O & M	2,1	%	4
Taux d'indexation du prix de rachat de l'électricité	2,1	%	4
Taxe fédérale sur le capital des grandes sociétés	0,225	%	5
Taxe du Québec sur le capital	0,6	%	5
Taxe municipale (en-lieu de taxes)	3,0	%	6

Tableau 4.2 : Hypothèses budgétaire, économique et fiscale des projets éoliens

Notes explicatives pour le tableau 4.2 :

1. Coût total d'investissement

Le budget d'investissement représente le coût total du projet. Ce budget d'investissement peut être divisé en deux grandes parties. D'une part, on retrouve les coûts de construction, souvent appelés « dépenses tangibles » et, d'autre part, les coûts non tangibles, se rapportant aux dépenses de développement et de financement.

Les coûts de construction équivalent normalement à la valeur d'un contrat clés en main accordé à une compagnie de construction. Ces coûts comprennent notamment l'ingénierie de détail et la gestion, les travaux civils, l'acquisition, le transport et l'installation sur le site des tours et des turbines éoliennes, les travaux et les équipements électriques (incluant les systèmes de contrôle et le raccordement au réseau de transport), les pièces de rechange, les contingences et les profits du constructeur clés en main, et enfin, les frais associés au démarrage et aux essais menant au début de l'exploitation commerciale.

Par ailleurs, les coûts non tangibles correspondent généralement à l'ensemble des frais de développement et de financement du projet. Ces coûts non tangibles comprennent les coûts rattachés aux études (préliminaires, détaillées et spécialisées), aux activités de développement (obtentions des droits fonciers, permis et autorisations), aux honoraires professionnels (légaux, techniques), aux frais financiers, aux frais d'intérêt durant la construction, et enfin, à la mise en place d'un fonds de réserve pour la dette et d'un fonds de roulement.

L'hypothèse de référence retenue pour fin de l'analyse financière est un budget d'investissement de 1,7 millions de dollars en 2004 pour un projet dont le contrat d'achat d'électricité serait signé en 2004 et dont la construction serait effectuée l'année suivante. Cette valeur est basée sur l'expérience d'Hélimax et de ses clients producteurs privés et publics dans les contextes du Québec et du Canada. **A discuter avec Louis.**

2. Dépenses annuelles d'opération et d'entretien (O & M)

Les dépenses annuelles reliées à l'opération et à l'entretien des installations sont composées des items suivants :

- frais d'opération et frais reliés à l'entretien préventif planifié ;
- frais de réparation;
- primes d'assurance;
- loyer pour les terrains;
- frais administratifs et de gestion (incluant comptabilité, gestion générale, etc.).

À l'heure actuelle, Hélimax planifie les frais reliés à l'opération et à l'entretien d'un parc éolien type au Canada en fonction d'un ordre de grandeur moyen de 0,015 \$ du kilowatt-heure. Cet ordre de grandeur reflète les connaissances accumulées au cours des dernières années et trouve une confirmation dans la littérature spécialisée dans l'industrie éolienne.

3. Taux annuel de réduction des coûts d'investissement et des dépenses O & M

L'industrie de l'énergie éolienne a connu à l'échelle mondiale une croissance annuelle composée de l'ordre de plus de **30%** au cours des cinq dernières années. Avec une année record d'environ 8000 MW installé correspondant à des investissements de près de 9 milliards de dollars US en 2003, la puissance éolienne a atteint de part le monde près de 40 000 MW au début de l'année 2004.

Le corollaire de cette croissance rapide est l'amélioration constante de la technologie éolienne aux plans de sa performance, de sa fiabilité et son coût d'investissement par MW installé. À cet effet, deux études de référence ont été utilisées afin d'établir le taux annuel pertinent de réduction des coûts d'investissement et des dépenses O & M en raison du gain technologique.

La première étude, intitulée « Wind Force 12 » et réalisée par BTM Consult pour le compte de l'Association européenne de l'énergie éolienne et Greenpeace, évalue la faisabilité pour l'industrie éolienne d'atteindre au taux composé de réduction des coûts d'investissement et des dépenses O & M de 3,5% annuellement sur la période 2004 à 2010. Ceci est basé toutefois sur l'hypothèse de la mise en place d'un cadre législatif et réglementaire vigoureux à l'échelle mondiale, ce que nous croyons être un scénario réalisable mais optimiste.

D'autre part, la firme BTM Consult, une référence dans l'industrie, établissait en 2003 dans son rapport intitulé « International World Energy Development » des prévisions de réduction des coûts d'investissement et des dépenses O & M équivalentes à un taux composé de 2,5 % annuellement sur la période 2004 à 2010 sur la base des tendances lourdes. Cette prévision nous apparaît plus réaliste et rien ne nous indique que des gains technologiques de cet ordre ne pourront pas se matérialiser. Le taux de réduction des coûts d'investissement et des dépenses d'opération et d'entretien attribuable au gain technologique de 2,5 % annuellement sera retenu pour la présente analyse financière. **Revoir selon BA.**

4. Taux annuel d'inflation et d'indexation

L'hypothèse des taux annuels d'inflation à long terme appliqués sur les coûts d'investissement de même que sur les dépenses d'opération et d'entretien est de 2,1 % et se base sur les prévisions de Hydro-Québec Distribution. **Source :**

Ce taux de 2,1 % a aussi été retenu comme hypothèse du taux d'indexation du prix de vente de l'électricité dans le cadre des contrats d'achat d'électricité.

5. Taxes sur le capital

Selon les plus récents budgets des gouvernements du Québec et du Canada, les taxes fédérale et provinciale sur le capital, applicables dans le cadre de projets d'investissement réalisés au Québec, sont respectivement de 0,225 % et 0,6 % en 2004. Ces taxes sont calculées sur la base du capital versé. Une exemption de 50 millions de dollars est applicable au fédéral à compter de 2004 alors qu'aucune exemption n'est applicable au provincial si le capital versé excède 4 millions de dollars, ce qui est le cas pour les projets éoliens ici à l'étude. De plus, même s'il a déjà été envisagé par le gouvernement du Québec de diminuer le taux de taxe sur le capital à 0,3 % en 2007, nous avons retenu le taux de 0,6 % puisque rien n'a été précisé pour les années à venir dans le plus récent budget.

Pour les besoins de la présente évaluation financière, nous avons retenu comme hypothèse que l'assiette sur laquelle étaient calculées les taxes sur le capital provinciale et fédérale équivalait à la somme de la dette courante (capital non remboursé) et de l'avoir propre. L'avoir propre équivaut de façon simplifiée à la mise de fonds propres initiale puisque nous assumons que les bénéficiaires non répartis seraient versés au fur et à mesure sous forme de dividendes. Nous avons retenu cette façon de faire simplifiée puisqu'elle nous permet d'estimer de façon réaliste la valeur du capital versé et ainsi réaliser l'évaluation financière à long terme des projets éoliens au Québec.

6. Taxes municipales (en-lieu de taxes)

Les taxes municipales (en-lieu de taxes) appliquées dans le cadre de l'analyse financière représentent une somme équivalente à 3 % des revenus bruts de vente d'électricité.

Paramètre	Valeur	Unité	Note
Fonds propres (% du coût total d'investissement)	30,0	%	1
Dettes (% du coût total d'investissement)	70,0	%	1
Subvention (% du coût total d'investissement)	0	%	1
Rendement sur fonds propres sur la durée du projet	15	%	2
Dettes			
- Taux d'intérêt	8	%	3
- Durée du terme	15	ans	3
- Fréquence de versement	trimes- trielle		
- Durée de l'analyse	25	ans	

Tableau 4.3 : Hypothèses de financement des projets éoliens



Notes explicatives pour le tableau 4.3 :

1. Ratio fonds propres, dette et subvention

Un ratio dette sur fonds propres de 2,33 a été retenu. Ce ratio est le résultat de la division d'une dette de 119 millions de dollars sur une mise de fonds propres de 51 millions de dollars correspondant respectivement à 70,0 % et 30,0 % du coût total d'un projet éolien de 100 MW en 2004.

Ce scénario correspond aux standards de l'industrie pour un projet de ce type réalisé au Canada et est d'autant plus réaliste à mesure que les facteurs d'utilisation augmentent.

Nous prenons pour acquis ici que les développeurs et leurs partenaires ont la capacité financière de mobiliser, d'une part, les capitaux nécessaires à la mise de fonds propres requise, et, d'autre part, que le projet pourra supporter une dette à long terme équivalent à 70 % de investissements totaux.

Enfin, l'analyse financière a été réalisée sur la base d'aucune aide ou subvention, que ce soit à l'investissement ou bien à la production comme par le biais du programme fédéral d'Encouragement à la production d'énergie éolienne (EPÉE).

2. Rendement sur fonds propres

Le rendement sur fonds propres exigé par les développeurs pour des projets éoliens réalisés au Québec se situe normalement entre 12 % et 18 %. Pour les fins de la présente analyse financière, un taux de rendement sur fonds propres de 15 % a été retenu. Ce rendement tient compte dans son calcul des taxes fédérale et provinciale sur le capital de même que des taxes municipales (en-lieu de taxes). Ce rendement est toutefois calculé avant les impôts sur les bénéfices.

3. Financement de la dette

Les projets éoliens devraient pouvoir bénéficier de contrats d'achat d'électricité à long terme de 20 à 25 ans. Incidemment, le promoteur devrait pouvoir négocier un prêt à long terme d'une durée minimale de 15 ans (voire plus) avec une banque commerciale, ou encore avec une compagnie d'assurance ou avec un taux d'intérêt en vigueur pour de tels projets est de l'ordre de 200 à 250 points de base au-dessus du rendement obtenu avec des obligations d'épargne du Gouvernement du Canada pour un terme équivalent, soit 15 ans. Le rendement de ces obligations pour un terme de 15 ans était d'environ 4,9 % en avril 2004. Le taux d'intérêt applicable à l'emprunt devrait donc être de l'ordre de 7,4 % à 7,9 %. Nous utiliserons pour les fins de cette étude un taux conservateur de 8,0 %.

Année de construction	Année de mise en service	Coût d'investissement par MW ¹	Coût d'investissement par MW ²	Dépenses O & M par kWh ³	Dépenses O & M par kWh ⁴
		(milliers \$ 2004)	(milliers \$ <i>courant</i>)	(cent 2004)	(cent <i>courante</i>)
2003	2004	1 743	1 707	1,54	1,51
2004	2005	1 700	1 700	1,50	1,50
2005	2006	1 659	1 693	1,46	1,49
2006	2007	1 618	1 687	1,43	1,49
2007	2008	1 579	1 680	1,39	1,48
2008	2009	1 540	1 674	1,36	1,48
2009	2010	1 503	1 667	1,33	1,47
2010	2011	1 466	1 661	1,29	1,47

Tableau 4.4 : Valeurs de calcul utilisées selon l'année de construction et de mise en service sur l'horizon 2004 à 2010

Notes explicatives pour le tableau 4.4 :

1. Gain technologique

Un taux annuel de réduction des coûts d'investissement et des dépenses d'opération et d'entretien de 2,5 % est appliqué pour tenir compte du gain technologique sur l'horizon 2004 à 2010.

2. Taux d'inflation

Un taux annuel d'inflation de 2,1 % est appliqué sur les coûts d'investissement et les dépenses d'opération et d'entretien sur l'horizon 2004 à 2010.

3. Exemple d'un projet entrant en service en 2008

Cet exemple correspond à la ligne en caractère gras du tableau 4.4. Il s'agit d'un projet confirmé et réalisé au début de l'année 2007 sur la base d'un coût d'investissement de 1 680 000 millions de dollars par MW en dollars constant de 2007 qui prend en compte les gains technologiques et l'inflation. Ce projet entrerait en opération commerciale au début de l'année 2008 avec des dépenses d'opération et d'entretien de 1,48 cents le kWh (en dollars constant de 2008) à sa première année d'opération. **Louis : courant vs constant? ; notes de bas de page?**



4.2 RÉSULTATS DU CALCUL DU PRIX DE REVIENT

Les résultats de l'analyse financière sont illustrés à la figure 4.1 et les faits saillants sont présentés ci-après.

4.2.1 Qualité des gisements éoliens

Toutes choses étant égales par ailleurs, la qualité des gisements éoliens induirait une réduction du prix de revient de l'énergie éolienne de l'ordre de **42 %** en dollars constants de 2004 lorsque l'on compare pour une année donnée le prix de revient d'un gisement éolien de classe excellente et un gisement éolien de classe acceptable. Cette réduction de **42 %** représente une valeur nominale variant entre 2,7 cents à 2,4 cents le kWh selon l'année de mise en service considérée. En bout de piste, la qualité des gisements éoliens constitue à court terme un facteur extrêmement significatif de réduction des prix de revient de l'énergie éolienne, les faisant passer pour un gisement éolien de classe excellente à acceptable de :

- 9,3 à 6,6 cents le kWh (\$ 2004) pour un projet mis en service en 2004;
- 8,9 à 6,3 cents le kWh (\$ 2004) pour un projet mis en service en 2006;
- 8,5 à 6,0 cents le kWh (\$ 2004) pour un projet mis en service en 2008;
- 8,1 à 5,7 cents le kWh (\$ 2004) pour un projet mis en service en 2010.

4.2.2 Gains technologiques

Toutes choses étant égales par ailleurs, les réductions anticipées des coûts d'investissement et des dépenses d'opération et d'entretien attribuables à l'évolution de la technologie éolienne seraient responsables à elles seules d'une réduction du prix de revient de l'énergie éolienne de l'ordre de 15 % en dollars constants de 2004 au cours de la période s'étendant de 2004 à 2010. Cette réduction de 15 % représente une valeur nominale oscillant entre 0,9 cent à 1,2 cents le kWh selon la classe de gisement considérée. En somme, les gains technologiques exerceront une pression constante à la baisse sur les prix de revient de l'énergie éolienne, les faisant passer sur la période 2004 à 2010 de :

- 6,6 à 5,7 cents le kWh (\$ 2004) pour les gisements éoliens de classe excellente;
- 7,3 à 6,3 cents le kWh (\$ 2004) pour les gisements éoliens de classe très bonne;
- 8,1 à 7,0 cents le kWh (\$ 2004) pour les gisements éoliens de classe bonne;
- 9,3 à 8,1 cents le kWh (\$ 2004) pour les gisements éoliens de classe acceptable.

À discuter.

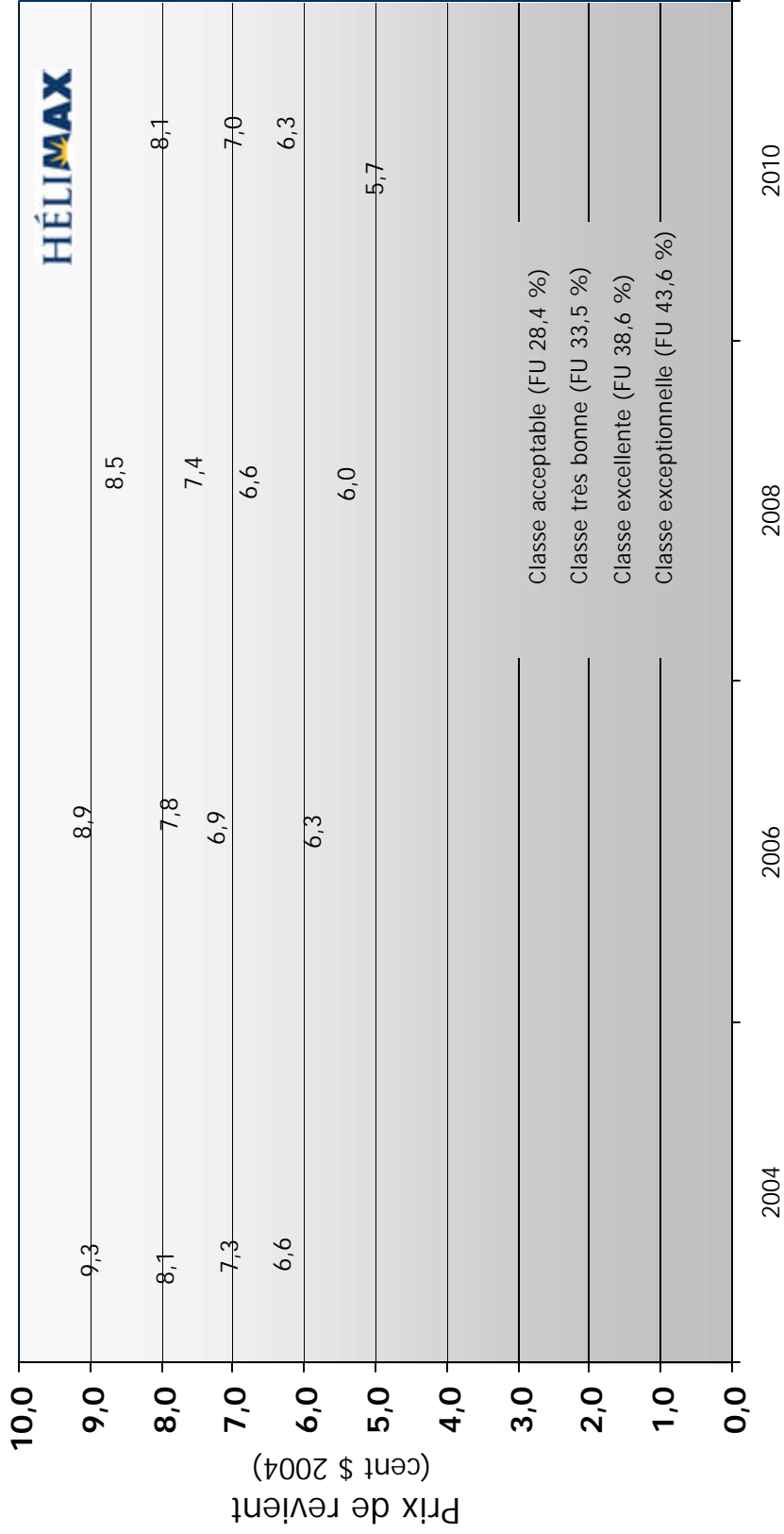


Figure 4.1 : Prix de revient de l'énergie éolienne au Québec selon l'évolution technologique pour 4 classes de gisement Pour des projets éoliens de 100 MW réalisés entre 2004 et 2010 et procurant un TRIAI de 15%

4.3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Cette section présente les résultats de l'analyse de sensibilité du taux de rendement interne du projet après taxes sur le capital et municipales (TRIATCM) à la variation des sept paramètres suivants :

- la vitesse du vent;
- la production d'électricité;
- le prix de vente de l'électricité;
- le coût total du projet;
- les dépenses d'opération et d'entretien (O & M);
- le taux d'intérêt sur la dette;
- le ratio dette sur fonds propres.

Chacun de ces paramètres a donc été augmenté et diminué tour à tour de plus ou moins 5 %, 10 % et 20 % pour connaître la variation du TRIATCM qui en résulte à la fois en valeur absolue et en valeur relative. Le scénario de base sur lequel l'analyse de sensibilité a été effectuée est un projet éolien de 100 MW mis en service en 2008 et réalisé sur un site ayant un gisement éolien de classe très bonne, 8 à 9 m/s, soit celui dont le prix de revient est de 6,6 cents le kWh en dollars de 2004 (équivalent à 7,18 cents en dollars de 2008).

Un graphique sommaire ainsi qu'une série de tableaux des résultats détaillés sont exposés suivant l'analyse faite ci-après au sujet des tendances qui se dégagent sur la sensibilité du TRIATCM eu égard à l'influence des paramètres étudiés.

Ainsi, l'analyse des résultats montre que la vitesse des vents est de loin le paramètre qui a l'impact le plus significatif sur le TRI du projet après taxes sur le capital et municipale (TRIATCM). Dans ce cas-ci, une baisse de 20 % de la vitesse des vents fait chuter le TRIATCM de l'ordre de 57 % alors qu'une augmentation de la vitesse des vents de 20 % engendre une hausse du TRIATCM de 47 %.

Dans la même veine, la production d'électricité, le prix de vente et le coût total d'investissement du projet sont des paramètres qui ont aussi un grand impact sur le TRIATCM, avec des variations relatives de l'ordre de plus ou moins 30 à 47 % sur le TRIATCM quand ces paramètres varient de plus ou moins 20 % respectivement.

Enfin, contrairement aux quatre premiers paramètres, une variation des frais d'entretien et d'opération (O & M), du taux d'intérêt sur la dette ou encore du ratio dette sur fonds propres ont une incidence beaucoup plus limitée sur le TRIATCM. En effet, une variation à la hausse ou à la baisse de 20 % de ces paramètres se traduit en une variation d'environ plus ou moins 3 à 10 % du TRIATCM.



ANALYSE DE SENSIBILITÉ

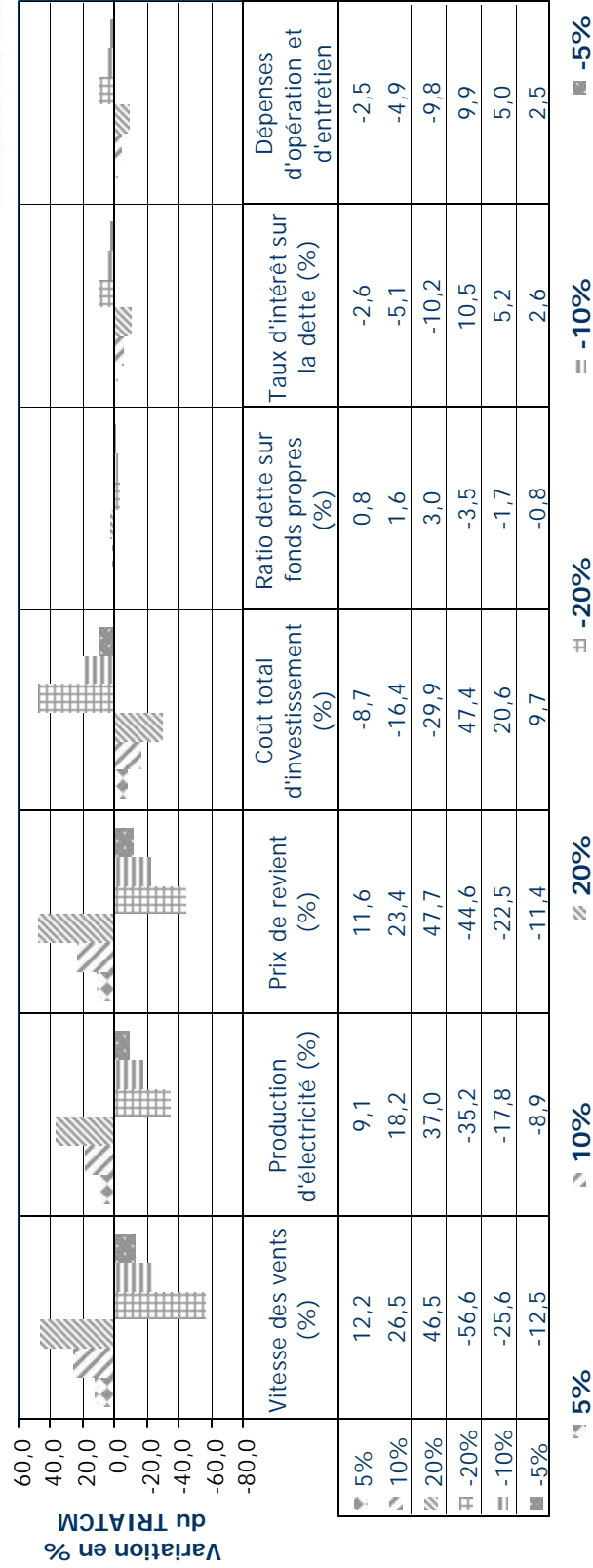


Figure 4.2 : Résultats de la sensibilité du TRI après taxes sur le capital et municipales à la variation de sept paramètres

Vitesse des vents				
Scénario	Facteur d'ajustement (%)	Production d'électricité (X)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	-32	228 580	6,5	-56,6
Variation considérée -10%	-15	289 106	11,1	-25,6
Variation considérée -5%	-7	314 466	13,1	-12,5
Variation considérée	0	338 136	15,0	0,0
Variation considérée 5%	7	360 791	16,8	12,2
Variation considérée 10%	14	386 828	19,0	26,5
Variation considérée 20%	25	422 332	22,0	46,5

Tableau 4.5 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de la vitesse des vents

Production d'électricité			
Scénario	Valeur (\$)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	270 509	9,7	-35,2
Variation considérée -10%	304 322	12,3	-17,8
Variation considérée -5%	321 229	13,7	-8,9
Variation considérée	338 136	15,0	0,0
Variation considérée 5%	355 043	16,3	9,1
Variation considérée 10%	371 950	17,7	18,2
Variation considérée 20%	405 763	20,5	37,0

Tableau 4.6 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de la production d'électricité

Prix de revient					
Scénario	Prix 1 (%)	Prix 2 (%)	Prix 3 (%)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	5,74	0,00	0,00	8,3	-44,6
Variation considérée -10%	6,46	0,00	0,00	11,6	-22,5
Variation considérée -5%	6,82	0,00	0,00	13,3	-11,4
Variation considérée	7,18		0,00	15,0	0,0
Variation considérée 5%	7,54	0,00	0,00	16,7	11,6
Variation considérée 10%	7,90	0,00	0,00	18,5	23,4
Variation considérée 20%	8,62	0,00	0,00	22,1	47,7

Tableau 4.7 : Sensibilité du TRIATCM à une variation de du prix de revient

Coût total d'investissement					
Scénario	Fonds propres (\$)	Dette (\$)	Subvention (X)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	40 320	94 080	0	22,1	47,4
Variation considérée -10%	45 360	105 840	0	18,1	20,6
Variation considérée -5%	47 880	111 720	0	16,4	9,7
Variation considérée	50 400	117 600	0	15,0	0,0
Variation considérée 5%	52 920	123 480	0	13,7	-8,7
Variation considérée 10%	55 440	129 360	0	12,5	-16,4
Variation considérée 20%	60 480	141 120	0	10,5	-29,9

Tableau 4.8 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du coût d'investissement

Dépenses d'opération et d'entretien			
Scénario	Valeur (\$)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	4 004	16,5	9,9
Variation considérée -10%	4 504	15,7	5,0
Variation considérée -5%	4 754	15,4	2,5
Variation considérée	5 004	15,0	0,0
Variation considérée 5%	5 255	14,6	-2,5
Variation considérée 10%	5 505	14,3	-4,9
Variation considérée 20%	6 005	13,5	-9,8

Tableau 4.9 : Sensibilité du TRIATCM à une variation des dépenses d'opération et d'entretien

Taux d'intérêt sur la dette			
Scénario	Valeur (%)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	6,4	16,6	10,5
Variation considérée -10%	7,2	15,8	5,2
Variation considérée -5%	7,6	15,4	2,6
Variation considérée	8,0	15,0	0,0
Variation considérée 5%	8,4	14,6	-2,6
Variation considérée 10%	8,8	14,2	-5,1
Variation considérée 20%	9,6	13,5	-10,2

Tableau 4.10 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du taux d'intérêt sur la dette

Ratio dette sur fonds propres				
Scénario	Fonds propres (\$)	Dette (\$)	TRIATCM 25 ans (%)	Variation du TRIATCM (%)
Variation considérée -20%	58 605	109 395	14,5	-3,5
Variation considérée -10%	54 194	113 806	14,7	-1,7
Variation considérée -5%	52 228	115 772	14,9	-0,8
Variation considérée	50 400	117 600	15,0	0,0
Variation considérée 5%	48 696	119 304	15,1	0,8
Variation considérée 10%	47 103	120 897	15,2	1,6
Variation considérée 20%	44 211	123 789	15,4	3,0

Tableau 4.11 : Sensibilité du TRIATCM à une variation du ratio dette sur fonds propres

5.0 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES POUVANT DÉCOULER DE LA FILIÈRE ÉOLIENNE

La filière éolienne compte parmi ses nombreux avantages le niveau relativement élevé des retombées économiques découlant de la réalisation et de l'exploitation des parcs éoliens. Ceci s'explique entre autre par le fait qu'il est relativement facile de localiser la fabrication et l'assemblage de certaines composantes d'éoliennes. Une localisation de la fabrication et de l'assemblage des éoliennes nécessite toutefois un volume minimal afin d'intéresser les fabricants à maximiser les retombées économiques. La section 5.1 traitera donc des possibles retombées économiques en terme quantitatif, plus précisément en termes d'emplois, de valeur ajoutée et de fiscalité résultant du déploiement de la filière éolienne à grande échelle et ce, selon 2 scénarios.

Par ailleurs, la section 5.2 traitera de retombées et autres considérations économiques de nature qualitative pouvant découler d'un déploiement de la filière éolienne à très grande échelle.

5.1 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES EN TERMES QUANTITATIFS

Comme exprimé plus haut, il est possible d'anticiper une localisation de la fabrication de certaines composantes d'éoliennes, voire à leur assemblage au Québec, si le volume le justifie.

D'ailleurs, suite au Décret gouvernemental no. 352-2003 du 5 mars 2003, Hydro-Québec Distribution lançait le 12 mai 2003, un appel d'offres pour la réalisation de 1000 MW de puissance éolienne installée au Québec. Entre autres conditions, cet appel d'offres impose la maximisation des retombées économiques dans la municipalité régionale de comté de Matane et dans la région administrative de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine en matière d'emplois et d'investissement, incluant notamment l'implantation des installations d'assemblage des turbines éoliennes et des parcs éoliens dans cette région, et un contenu local minimum, toujours dans cette même région, correspondant à :

- 40 % des coûts globaux pour les premiers 200 MW requis au plus tard le 1^{er} décembre 2006;
- 50 % des coûts globaux pour les 100 MW requis au plus tard le 1^{er} décembre 2007;
- 60 % des coûts globaux pour les autres MW requis subséquentement.

Selon les positions énoncées par les principaux manufacturiers d'éoliennes et certains promoteurs, il appert que l'atteinte de ces taux d'intégration à l'économie locale soit possible pour des volumes minimaux variant de 500 MW à 1 000 MW.

Par ailleurs, il est évident qu'un volume plus important que 1 000 MW résulterait en un taux d'intégration encore plus élevé.

Afin de quantifier le potentiel des retombées économiques résultant de la filière éolienne, Hélimax a retenu les services de M. Jean-Claude Thibodeau⁹ afin de coordonner l'utilisation du modèle intersectoriel du Québec dans le but de mesurer les retombées économiques pour 2 scénarios de déploiement de la filière éolienne, soit 1 000 MW (scénario de base déjà lancé par l'appel d'offre récent d'Hydro-Québec Distribution) et 4 000 MW de puissance nominale (scénario hypothétique plus ambitieux).

Les hypothèses retenues et fournies à M. Thibodeau pour fins de ces modélisations sont résumées dans les tableaux 5.1 à 5.3.

Hypothèses	Scénario	
	1	2
Puissance installée (MW)	1 000	4 000
Nombre de parcs	8	20
Taille moyenne des parcs (MW)	125	200
Taille moyenne des éoliennes (MW)	2	3
Nombre d'éoliennes par parc	62,5	66,7
Nombre total d'éoliennes	500	1 333

Tableau 5.1 : Hypothèses de base pour la modélisation des retombées économiques

9. M. Thibodeau détient une maîtrise en science économique de l'Université Laval et un doctorat de 3^e cycle de l'université de Strasbourg. Entre autres fonctions, M. Thibodeau a occupé le poste de directeur de l'INRS-Urbanisation de 1975 à 1997.

Composante et sous composante	Coût par unité d'éolienne		Contenu québécois	
	Par éolienne de 2 MW - Scénario 1 000 MW (\$)	Par éolienne de 3 MW - Scénario 4 000 MW (\$)	Scénario 1 000 MW (%)	Scénario 4 000 MW (%)
1. Ingénierie et gestion	74	98	100	100
2. Dépenses tangibles de construction	3 001	3 967		
2.1 Achat de turbines, érection et transport	2 481	3 279		
Turbines et système de contrôles (59,8% de 2.1)	1 483	1 961	20	40
Tours (13,8% de 2.1)	342	452	100	100
Pales (15% de 2.1)	372	492	100	10
Mise en service	incl.	incl.	incl.	incl.
Érection (6,0% de 2.1)	149	197	100	100
Transport (3,6% de 2.1)	89	117	80	90
Version nordique (1,8% de 2.1)	45	60	70	80
2.2 Travaux civils	243	321		
Chemin d'accès, aire pour la grue et entreposage	56	74	100	100
Tranchées pour les câbles électriques	38	50	100	100
Bâtiment pour le poste électrique et les contrôles	9	12	100	100
Fondations (turbines et transformateur)	136	180	100	100
Paysagement	4	5	100	100
2.3 Equipements et câblage de la turbine	146	193		
Terminaisons électriques	11	15	100	100
Boîte de couplage et disjoncteur	84	112	70	75
Câble moyenne tension	12	16	100	100
Transformateur de puissance	38	50	100	100
2.4 Raccordement au réseau	101	133		
Poste électrique	63	83	70	70
Ligne de surface	32	42	100	100
Communication	6	8	75	75
2.5 Contrôles	19	25		
SCADA	incl.	incl.	incl.	incl.
Tour anémométrique permanente	19	25	95	95
2.6 Autres dépenses tangibles	11	15		
Inventaire initial de pièce de rechange	6	8	30	60
Formation	3	4	90	100
Balisage	2	3	50	50
3. Dépenses non tangibles (incluant)	162	214	90	90
Frais de développement				
Frais légaux				
Frais de financement				
Caution, assurance devise, ...				
4. Contingence (10% sur tout sauf l'item 2.1)	76	100	50	70
Total (moyenne pondérée)	3 313	4 378	60	70

Tableau 5.2 : Hypothèses sur la ventilation du coût de construction d'un projet éolien et son contenu québécois (mille \$2004)
Scénarios de 1 000 MW et 4 000 MW

Composante et sous composantes	Coût par unité d'éolienne		Contenu québécois	
	Par éolienne de 2 MW (Scénario 1 000 MW) (\$)	Par éolienne de 3 MW (Scénario 4 000 MW) (\$)	Scénario 1 000 MW (%)	Scénario 4 000 MW (%)
1. Entretien planifié et imprévu et fond de réserve	41,8	55,3		
1.1 Pièces	25,1	33,2	30	60
1.2 Main-d'œuvre	16,7	22,1	100	100
2. Autre dépenses d'opération	56,7	74,9		
2.1 Taxes municipales (en lieu de taxes)	14,2	18,8	100	100
2.2 Royauté (terrain et municipalité)	9,5	12,5	100	100
2.3 Assurances	19,0	25,1	50	50
2.4 Entretien poste et ligne de raccordement	1,6	2,2	100	100
2.5 Administration et gestion	12,4	16,3	100	100
Total (moyenne pondérée)	98,5	130,2	72,5	80,2

Tableau 5.3 : Hypothèses sur la ventilation du coût d'exploitation d'un projet éolien et son contenu québécois (mille \$2004)
Scénarios de 1 000 MW et 4 000 MW

5.1.1 Justification des hypothèses

Les hypothèses fournies aux tableaux 5.4 et 5.5 proviennent entre autre de la littérature spécialisée mais plus particulièrement des banques de données et de l'expérience d'Hélimax.

En ce qui concerne le contenu québécois lors de la phase réalisation des projets, le premier et le second scénario misent respectivement sur un taux d'intégration de 60 % et 70 %. Dans le cas du premier scénario, le taux d'intégration pondéré imposé par décret gouvernemental pour l'ensemble des 1 000 MW est de 55 %. Ce taux minimum doit toutefois être atteint pour la MRC de Matane et la Région administrative de la Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine. Toutes les retombées au Québec, à l'extérieur de cette région, augmenteraient d'autant le taux pondéré moyen de 55 %. Dans les circonstances, il nous apparaît raisonnable d'utiliser un taux d'intégration de 60 % pour l'ensemble du territoire du Québec.

En ce qui concerne le taux d'intégration de 70 % utilisé pour le deuxième scénario, nous avons émis l'hypothèse que le pourcentage de la valeur des composantes d'une éolienne

achetées au Québec passerait de 20 % à 40 % dans le cas où le volume d'achat augmentait de 1 000 MW à 4 000 MW.

Pour ce qui est des taux d'intégration des dépenses lors de la phase exploitation, ces derniers ont été établis à 72,5 % et 80,2 % pour le premier et le second scénario respectivement. Encore ici, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle la valeur des pièces de rechange en provenance du Québec passait de 30 % à 60 % dans le cas où le volume réalisé passait de 1 000 MW à 4 000 MW.

5.1.2 Résultats de la modélisation

L'étude de modélisation des retombées économiques réalisée par M. Thibodeau est fournie à **l'annexe ___**.

Les tableaux 5.4 et 5.5 résument l'essentiel des résultats de cette étude.

Scénario de 1 000 MW					
Investissement total (\$ 2004) : 1 655 500 000					
Énergie produite (TWh selon un facteur de 35 % / année): 3,07					
Catégorie	Niveau des retombées				
	Effets directs	Effets indirects	Sous total des effets directs et indirects	Effets induits	Effets totaux
Phase construction					
Main d'oeuvre (personne année)	1 378	7 706	9 084	2 028	11 112
Personne année / million \$ d'investissement	0,8	4,7	5,5	1,2	6,7
Personne année / MW de puissance	1,4	7,7	9,1	2,0	11,1
Valeur ajoutée (\$ 000)	86 283	513 438	599 721	139 267	738 988
Taxes indirectes	0	9 013	9 013	2 906	11 919
Revenus gouvernement Québec	12 375	84 384	96 759	13 880	110 639
Revenus gouvernement fédéral	5 818	38 924	44 742	6 412	51 154
Phase exploitation					
Main d'oeuvre (personne année)	105	187	292	81	373
Personne année / TWh généré	34,2	60,9	95,1	26,4	121,5
Valeur ajoutée (\$000)	20 150	12 285	32 435	5 594	38 029
Taxes indirectes (\$)	0	1 012	1 012	116	1 128
Revenus gouvernement du Québec (\$)	1 646	2 524	4 170	558	4 728
Revenus gouvernement fédéral (\$)	908	1 137	2 045	257	2 302
Total construction et 25 années d'exploitation					
Main d'oeuvre (personne année)	4 003	12 381	16 384	4 053	20 437
Valeur ajoutée (\$000)	590 033	820 563	1 410 596	279 117	1 689 713
Taxes indirectes (\$)	0	34 313	34 313	5 806	40 119
Revenus gouvernement du Québec (\$)	53 525	147 484	201 009	27 830	228 839
Revenus gouvernement fédéral (\$)	28 518	67 349	95 867	12 837	108 704

Tableau 5.4 : Impact économique sur l'ensemble du Québec de la construction et l'exploitation de vingt parcs d'éoliennes ayant un potentiel de 1 000 MW

Scénario de 4 000 MW					
Investissement total (\$ 2004) : 5 830 100 000					
Énergie produite (TWh selon un facteur de 35 % / année) : 12,26					
Catégorie	Niveau des retombées				
	Effets directs	Effets indirects	Sous total des effets directs et indirects	Effets induits	Effets totaux
Phase construction					
Main d'oeuvre (personne année)	4 920	31 906	36 826	8 312	45 138
Personne année / million \$ d'investissement	0,8	5,5	6,3	1,4	7,7
Personne année / MW de puissance	4,9	31,9	36,8	8,3	45,1
Valeur ajoutée (\$ 000)	308 792	2 127 250	2 436 042	570 060	3 006 102
Taxes indirectes (\$)	0	35 348	35 348	11 910	47 258
Revenus gouvernement du Québec (\$)	44 830	334 385	379 215	56 889	436 104
Revenus gouvernement fédéral (\$)	21 455	161 459	182 914	26 286	209 200
Phase Exploitation					
Main d'oeuvre (personne année)	372	660	1 032	291	1 323
Personne année / TWh généré	30,3	53,8	84,2	23,7	107,9
Valeur ajoutée (\$000)	71 179	43 322	114 501	19 977	134 478
Taxes indirectes (\$)	0	3 566	3 566	417	3 983
Revenus gouvernement du Québec (\$)	5 807	8 899	14 706	1 991	16 697
Revenus gouvernement fédéral (\$)	3 204	4 011	7 215	919	8 134
Total construction et 25 années d'exploitation					
Main d'oeuvre (personne année)	14 220	48 406	62 626	15 587	78 213
Valeur ajoutée (\$000)	2 088 267	3 210 300	5 298 567	1 069 485	6 368 052
Taxes indirectes (\$)	0	35 348	35 348	11 910	47 258
Revenus gouvernement du Québec (\$)	190 005	556 860	746 865	106 664	853 529
Revenus gouvernement fédéral (\$)	101 555	261 734	363 289	49 261	412 550

Tableau 5.5 : Impact économique sur l'ensemble du Québec de la construction et l'exploitation de vingt parcs d'éoliennes ayant un potentiel de 4 000 MW

5.2 RETOMBÉES ÉCONOMIQUES EN TERMES QUALITATIFS

La filière éolienne génère plusieurs avantages économiques difficilement quantifiables. En effet, en plus des avantages économiques clairement quantifiés dans la section 5.1, les avantages présentés aux sections 5.2.1 à 5.2.8 devraient être pris en compte dans l'évaluation des retombées de la filière.

5.2.1 Développement régional et industriel

La filière éolienne peut servir d'outil de développement régional et de diversification de l'économie dans certaines régions comme la Gaspésie. D'ailleurs, l'appel d'offre d'Hydro-Québec Distribution de 1 000 MW de puissance éolienne présentement en cours résultera obligatoirement en des retombées économiques significatives pour la MRC de Matane et la Région de la Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine.

5.2.2 Complémentarité avec l'industrie touristique

Les parcs éoliens peuvent avoir un impact négatif sur le paysage et par conséquent sur l'industrie touristique de cer-

taines régions comme la Gaspésie. Il a en effet été démontré qu'à Cap-Chat, le projet le Nordais génère des retombées touristiques non négligeables.

Ceci s'explique pas la fascination et l'appui de la population pour la filière éolienne. Par conséquent, des parcs bien configurés et répartis sur un grand territoire (afin d'éviter une saturation) devraient avoir un impact positif plutôt que négatif sur l'industrie touristique.

5.2.3 Développement de l'expertise et leadership québécois sur l'échiquier nord-américain

Après l'Europe, il semble que la croissance la plus forte de la filière éolienne au cours des dix prochaines années se fera sentir en Amérique du Nord plus que n'importe où ailleurs. Pour cette raison, plusieurs entreprises européennes (fabricants de turbines éoliennes et de leurs composantes, développeurs, consultants spécialisés, ...) considèrent s'implanter en Amérique du Nord afin de poursuivre leur croissance de la dernière décennie.

Une politique favorable à un déploiement à grande échelle de la filière éolienne au Québec, combinée au présent appel d'offre pour 1 000 MW (lequel requiert un haut taux d'intégration et l'assemblage d'éoliennes en Gaspésie) pourrait amener des entreprises étrangères de pointe à favoriser le Québec comme plaque tournante de la filière éolienne en Amérique du Nord.

5.2.4 Exportation de biens et services

Comme pour la filière hydroélectrique, il ne fait nul doute qu'une industrie éolienne bien intégrée à l'économie québécoise résulterait en des occasions réelles et majeures d'exportation de biens et services dans toute l'Amérique du Nord et sur la scène internationale.

5.2.5 Évitement/réduction des émissions de GES

Plutôt que d'accroître ses émissions de polluants, incluant les gaz à effet de serre, l'utilisation à grande échelle de la filière éolienne, combinée au parc de centrales hydroélectriques du Québec, placerait la province dans une position de force par rapport au bilan environnemental. La vente de crédits carbone pourrait même être un bénéfice économique éventuel découlant de la réalisation de parcs éoliens (plutôt qu'un handicap dans le cas des centrales thermiques).

5.2.6 Complémentarité hydro-éolien

Le Québec se trouve dans une position unique par rapport aux possibilités d'exploiter la filière éolienne à grande échelle. Non seulement bénéficie-t-il d'un très grand territoire riche en vent mais en plus, il bénéficie d'une capacité très importante de stockage par l'entremise de ses réservoirs hydrauliques.

Optimisé à l'extrême, le potentiel combiné de l'hydroélectricité et de l'éolien donne au Québec la possibilité de développer de manière unique en Amérique du Nord un potentiel éolien de très grande qualité.

5.2.7 Autosuffisance et sécurité énergétique

La filière éolienne n'est désormais plus une filière énergétique marginale. Avec son énorme potentiel, le Québec peut maintenant compter sur cette filière indigène pour assurer une partie non négligeable de la croissance de la demande en électricité de la province et ce, tout en s'assurant une autonomie énergétique sans aucune dépendance en combustible importé.

5.2.8 Stabilité des prix et diversification du portefeuille

La filière éolienne est plus coûteuse que la filière thermique à construire (sur une base de dollars par MW de puissance nominale) mais beaucoup moins chère à exploiter (le combustible étant gratuit).

Cette particularité fait en sorte que le prix de revient de la filière éolienne, quel qu'il soit, peut être garanti pour la durée de vie d'un projet (25 ans), seuls les frais d'entretien pouvant influencer légèrement son évolution dans le temps.

Par opposition, le prix de revient des filières thermiques dépend très fortement du prix du combustible, lequel ne peut être garanti à moyen et long terme.

6.0 COMPÉTENCES ET RÉALISATIONS D'HÉLIMAX

Hélimax Énergie est un consultant indépendant spécialisé en énergie éolienne engagé à offrir les services de pointe les plus performants et les mieux adaptés aux besoins de ses clients sur la scène nationale et internationale. Dans ce domaine, Hélimax se démarque comme l'une des principales firmes au Canada et est reconnu à travers le monde. L'équipe oeuvre depuis 6 ans, et son président depuis presque 10 ans, dans l'industrie éolienne au Québec, au Canada et à l'international. En ce moment, Hélimax est chargé du développement de plus de 5 000 MW de capacité en développement, dont plus de 800 MW au Québec. Son expérience pratique dans le développement de projets, ses compétences techniques et sa maîtrise des outils météorologiques les plus avancés de l'industrie rendent le travail d'Hélimax exceptionnel. L'excellence du travail d'Hélimax est d'ailleurs reconnue par ses clients qui comprennent des producteurs privés d'électricité, des distributeurs, des agences gouvernementales, des organismes sans but lucratif, des financiers, et des avocats.

L'équipe d'Hélimax offre une gamme complète de services reliés au développement de projets éoliens. Elle effectue par exemple des études stratégiques, des plans d'affaires, la cartographie des vitesses de vents, des études de faisabilité techniques, environnementales et financières, la configuration de parcs et l'analyse de potentiel éolien. En outre, Héli-

max se démarque de ses concurrents par sa spécialisation dans la prospection visant à identifier les meilleurs sites et dans l'analyse de la ressource éolienne. Hélimax identifie pour ses clients, tels que Trans Canada, Brascan, Shell Canada, Hydro Québec, Manitoba Hydro, BC Hydro, Kruger, ABB New Ventures, et Innergex, les meilleurs sites pour le développement de leurs projets. Pour ce faire, Hélimax identifie les sites les mieux adaptés aux besoins de ses clients en commençant par la production d'une carte de vitesse des vents à mésoéchelle de la région considérée. Après avoir produit la carte mésoéchelle, Hélimax détermine les meilleures régions pour le développement de projets en considérant les facteurs de zones aménageables, de distance des lignes de transmission des villes, et de terrain. Enfin, en se basant sur les caractéristiques de la ressource, Hélimax calcule un prix de revient pour le projet en kWh. C'est ce type de travail qui donne une valeur ajoutée à ses projets.

Le tableau 6.1 présente les cartes à mésoéchelle produites par Hélimax et spécifie à la fois en quoi la production de la carte a été utile et comment cette dernière a été utilisée.

Région de la carte mésoéchelle	But	Actions suivantes	Client
Continent africain	Identifier les pays ayant le meilleur gisement éolien et les meilleurs environnements législatif, réglementaire, politique, et énergétique	Implémentation d'un plan pour développer une industrie éolienne dans les 15 pays avec le meilleur environnement	Banque africaine de développement
Région de Terre Neuve	Identifier les meilleurs sites potentiels pour un projet,	Développement un projet de 50 MW	Producteur privé d'électricité
Nouvelle-Écosse	Identifier les meilleurs sites potentiels pour un projet	Soumission à un appel d'offre avec deux projets	Producteur privé d'électricité
Région du Nouveau-Brunswick	Identifier les meilleurs sites potentiels pour un projet	Développement d'un projet à soumettre à un appel d'offre	Producteur privé d'électricité
Région Québec	Identifier les meilleurs sites potentiels pour un projet, installer les mâts de	Développement de plus 800 MW à soumettre à une demande de soumission	Producteur privé d'électricité
Région du Manitoba (au sud du 54 ^e parallèle)	Connaître le potentiel éolien et trouver les meilleurs sites	Développement de projet	Manitoba Hydro
2 régions de Colombie- Britannique	Quantifié la ressource éolienne et identifier les meilleurs sites		BC Hydro

Tableau 6.1 Projets et clients pour lesquels Hélimax a mesuré des prix de revient en kWh