

**ANNEXE 4**  
**RÉPONSE À LA QUESTION 33.1**



# RECONSTITUTION DE SÉRIES HISTORIQUES DE PRODUCTION ÉOLIENNE

## Parcs éoliens de la Gaspésie (990 MW)

Préparé pour  
Hydro-Québec Distribution

Par  
Hélimax Énergie inc.

Février 2008



**hélimax**

Consultant en énergie éolienne pour le monde

## IDENTIFICATION DU DOCUMENT

Numéro du projet : 376

Date d'émission : 20 février 2008

Version : Finale

Statut du document : Strictement confidentiel

Liste de circulation : Hydro-Québec Distribution, copie interne d'Hélimax

Historique des révisions : 9 octobre 2007 – Première publication  
20 février 2008 – Révision 1 : - Prise en compte des remarques du Client  
- Nouvelles simulations

## CLAUSE D'EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ

Le présent rapport a été rédigé par Hélimax Énergie inc. (« Hélimax ») conformément à sa proposition et aux directives fournies par le « client ». Les renseignements et l'analyse figurant aux présentes bénéficient uniquement au client et aucune autre personne ne pourra s'y fier. Hélimax s'est strictement fondée sur les données actuellement disponibles et a exécuté les services conformément aux normes de diligence actuellement suivies par les cabinets d'experts conseils qui rendent des services de nature semblable. Malgré ce qui précède, ni Hélimax, ni les personnes agissant pour son compte ne font quelque déclaration ni ne donnent quelque garantie que ce soit, expresse ou tacite, i) ayant trait à la véracité, à l'exactitude ou à l'exhaustivité des renseignements figurant aux présentes élaborés par des tiers ou obtenus de ceux-ci, y compris du client, ou ii) que l'utilisation des renseignements figurant aux présentes par le client ne portera pas atteinte aux droits de propriété privée, notamment aux droits de propriété intellectuelle de quiconque. Le client est seul responsable de l'interprétation et de l'utilisation des renseignements figurant aux présentes et de leur adaptation à sa situation particulière. Par conséquent, Hélimax n'assume aucune responsabilité quelle qu'elle soit ayant trait à tout dommage direct ou indirect ou toute autre obligation découlant de l'utilisation par le client, des renseignements, des résultats, des conclusions ou de l'analyse figurant dans le présent rapport.

## TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION .....	1
2	MÉTHODOLOGIE DE LA RECONSTRUCTION DE DONNEES SUR UN SITE DE PRODUCTION .....	2
3	LE MODÈLE CALMET .....	2
3.1	DONNÉES D'ENTRÉES DU MODÈLE CALMET .....	2
4	MESURES SUR LES SITES DE PRODUCTION .....	7
5	RÉSULTATS DES SIMULATIONS ET DE L'EXTRAPOLATION VERTICALE .....	8
6	MÉTHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DE LA PRODUCTION HORAIRE .....	17
6.1	ESTIMATION DE LA PRODUCTION BRUTE .....	17
6.2	ESTIMATION DE LA PRODUCTION NETTE .....	17
7	RÉSULTATS .....	19
ANNEXE A	MÉTHODOLOGIE D'ESTIMATION DES PERTES .....	22
ANNEXE B	DESCRIPTION DES PARAMÈTRES DE SIMULATION DES PERTES .....	27
ANNEXE C	COURBES DE PUISSANCE ET DE TRAINÉE .....	28
ANNEXE D	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN ANSE-À-VALLEAU .....	29
ANNEXE E	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN BAIE-DES-SABLES .....	30
ANNEXE F	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN CARLETON .....	31
ANNEXE G	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN GROS-MORNE .....	32
ANNEXE H	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN LES MÉCHINS .....	34
ANNEXE I	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN MONT-LOUIS .....	35
ANNEXE J	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN MONTAGNE-SÈCHE .....	36
ANNEXE K	CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN SAINT-ULRIC .....	37
ANNEXE L	DESCRIPTION DES FICHIERS RÉSULTATS .....	38

## LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 : Localisation des stations météorologiques d'EC, des radiosondes et du point NCEP dans la région de la Gaspésie.....	4
Figure 3-2 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Baie-Comeau, Pointe-des-Monts et Port-Menier.....	5
Figure 3-3 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Mont-Joli, Cap-Madeleine et Cap-Chat.....	5
Figure 3-4 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Charlo, Miscou Island, New-Carlisle et Cap d'Espoir.....	6
Figure 5-1 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent par rapport aux observations.....	9
Figure 5-2 : Moyenne horaire de la vitesse du vent par rapport aux observations.....	10
Figure 5-3 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent pour les 36 ans de simulation.....	11
Figure 5-4 : Moyenne horaire de la vitesse du vent pour les 36 ans de simulation.....	12
Figure 5-5 : Moyenne mensuelle de la température par rapport aux observations.....	13
Figure 5-6 : Moyenne horaire de la température par rapport aux observations.....	14
Figure 5-7 : Moyenne mensuelle de la température pour les 36 ans de simulation.....	15
Figure 5-8 : Moyenne horaire de la température du vent pour les 36 ans de simulation.....	16
Figure 7-1 : Productions annuelles des parcs éoliens.....	20
Figure 7-2 : Pertes relatives annuelles des parcs éoliens.....	21
Figure A-1 : Modélisation des pertes reliée à la contamination des pales.....	22
Figure A-2 : Modélisation des pertes pour dégradations des pales.....	23

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : Données d'entrée du modèle CALMET pour chaque période de simulation.....	3
Tableau 4-1 : Période de comparaison entre les mesures et les simulations pour chaque site de production.....	7
Tableau 5-1 : Coefficients de détermination entre les simulations et les mesures.....	8
Tableau A-1 : Tirage aléatoire du nombre annuel de jours de gel.....	24
Tableau A-2 : Répartition annuelle de la maintenance préventive.....	25
Tableau A-3 : Tirage aléatoire des non-disponibilités dues aux pannes.....	26

# 1 INTRODUCTION

Dans ses analyses sur l'intégration de la production éolienne, Hydro-Québec Distribution (« HQD » ou « Client ») requiert des données horaires lui permettant de reconstituer les puissances productibles dans son réseau électrique. Il est important pour HQD d'être en mesure d'estimer la production d'électricité provenant des huit projets sous contrat, signés avec les promoteurs qui exploiteront les parcs éoliens dans la région de la Gaspésie, de même que les variations horaires de cette production. Les données produites dans le cadre de ce mandat pourront donc être utilisées par le Client afin de mener des études sur les stratégies d'approvisionnement et les coûts d'intégration de la production éolienne.

Des modélisations ont été effectuées pour simuler la production en puissance des 990 MW de parcs éoliens planifiés en Gaspésie durant une période climatique rétrospective de 36 ans. L'intérêt du Client d'obtenir de telles données est lié à l'existence d'une information comparable pour la charge du réseau. Ainsi, il lui est possible de tenir compte de la coïncidence entre la charge et la production éolienne. La période de 36 ans, couvrant de 1971 à 2006 inclusivement, a donc été choisie afin de correspondre à l'historique climatique de référence, utilisé par Hydro-Québec Distribution, pour les fins de la prévision des besoins et de la planification des approvisionnements.

Ce document donne l'essentiel de la méthodologie et le résumé des résultats obtenus. Le document est monté sous la forme de deux parties essentielles. Il s'agit d'une part de la génération des données météorologiques en l'occurrence les vitesses, les directions du vent et la température ambiante et, d'autre part, du calcul de la production en puissance des parcs éoliens sur la base des données météorologiques. Les données ont quant à elles été fournies au Client sur un support numérique.

Les méthodes utilisées pour reconstituer des données avec un pas de temps horaire sur une période aussi longue que 36 ans a fait appel à des méthodes nouvelles qui n'ont jamais, à la connaissance d'Hélimax, été utilisées ailleurs, aux fins de l'évaluation de la productivité des parcs éoliens. La nature de la ressource éolienne, variable dans le temps et dans l'espace, ainsi que la qualité souvent variable des données de base ont posé des défis importants. Le produit de l'exercice ne représente donc pas un niveau de fiabilité équivalent à celui de la production mesurée ou à celui qui découlerait de mesures directes de vent sur les sites de production. Ce niveau de fiabilité est d'ailleurs plus élevé pour la portion plus contemporaine de l'historique de 36 ans. Par ailleurs, les résultats des premières années sont moins fiables, puisque le nombre de stations météorologiques en exploitation en Gaspésie était plus faible et que les données recueillies ont fréquemment posé des problèmes de validité.

## 2 MÉTHODOLOGIE DE LA RECONSTRUCTION DE DONNEES SUR UN SITE DE PRODUCTION

Actuellement, il n'existe pas de méthodologie standard dans l'industrie éolienne qui permette de reconstruire, de manière précise et infaillible, un historique de production d'un parc éolien. Les méthodes utilisées s'appuient généralement sur des données recueillies par des stations météorologiques ayant un long historique de données.

Une des méthodes envisagées pour reconstituer un historique de production pour un parc éolien s'appuie sur l'utilisation conjointe des données mesurées sur site de production, à des hauteurs de 40 m et plus, et des données mesurées par les stations météorologiques d'Environnement Canada (« EC »), à une hauteur standard de 10 m. L'extrapolation des vitesses du vent sur le site de production est établie à partir du résultat de régressions linéaires entre les données mesurées sur le site de production et les données mesurées par les stations d'EC. Cette solution permet alors de reproduire un profil annuel des données climatologique, avec l'inconvénient de voir le même profil annuel se reproduire sur 36 ans.

Dans le souci de reconstituer des séries chronologiques réalistes pour chacune des 36 années visées par l'étude, il est intéressant de se pencher sur des méthodes alternatives permettant d'extrapoler des données de stations météorologiques vers les sites de production sous étude, par l'entremise de modèles physiques. Ainsi, les données générées par le modèle physique pourraient représenter une assez bonne approximation des conditions s'étant réellement produites, à chacune des heures, sur les sites de production.

À cette fin, le module météorologique CALMET (ci-après « le modèle CALMET »)<sup>1</sup> est utilisé pour générer des séries temporelles sur un site de production, à l'endroit d'un mât de mesure. Le modèle CALMET utilise les données d'entrée suivantes : les données de surface provenant de stations météorologiques (Environnement Canada ou autres) ayant un long historique de données (36 ans), les données de radiosondes recueillant de l'information de nature météorologique en altitude et les résultats de ré-analyses de NCEP. Le modèle CALMET est ainsi utilisé pour reproduire des séries chronologiques de données météorologiques sur un site de production à une hauteur de 10 m au dessus du sol et à une position géographique correspondante au mât de mesure représentatif des conditions de production sur un parc éolien. Les données météorologiques générées par le modèle CALMET sont : la vitesse du vent, la direction du vent et la température. Les données mesurées aux mâts météorologiques sur les sites de production sont utilisées pour calibrer le modèle CALMET.

---

<sup>1</sup> CALMET est le module météorologique du modèle CALPUFF, ce dernier étant utilisé par la communauté scientifique pour l'analyse de la dispersion des polluants atmosphériques.

Ainsi, les 36 ans de données chronologiques sont générés par le modèle CALMET et ce pour les huit parcs éoliens en Gaspésie. Ces données sont ensuite corrigées et extrapolés à la hauteur du moyeu des éoliennes, soit 80m.

L'extrapolation verticale des vitesses de vent est obtenue en utilisant le profil logarithmique du vent défini par l'équation ci-dessous. Aucune hauteur de déplacement n'a été prise en compte dans les calculs.

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{Z-d}{z_0}\right)$$

où :

- $U_z$  : vitesse du vent horizontal à la hauteur  $Z$  (m/s)
- $u_*$  : vitesse de friction (m/s)
- $Z$  : hauteur d'observation (m)
- $z_0$  : longueur de rugosité de la surface (m)
- $k$  : constante de von Karman ( $\approx 0,4$ )
- $d$  : déplacement au-dessus du sol (m)

Afin de reproduire le profil journalier et saisonnier des vitesses de vent au plus haut niveau de mesure, des coefficients d'extrapolation verticale différents sont calculés pour chacune des heures de la journée, chacun des mois de l'année, ainsi que pour chaque parc éolien. Ainsi, le coefficient d'extrapolation verticale est présumé fixe d'une journée à l'autre à l'intérieur d'un même mois à une heure donnée, ainsi que d'une année à l'autre pour le même mois et la même heure de la journée. Les sites de production qui ne sont pas pourvus de mâts de mesure sont assimilés aux sites comparables qui contiennent des mâts.

L'extrapolation verticale des données de température est ensuite réalisée en utilisant le gradient vertical de la température dans l'atmosphère standard<sup>2</sup>. Le résultat est ensuite corrigé en utilisant des régressions linéaires.

Par ailleurs, les variations de la direction sur une différence d'altitude de 70 m sont considérées non significatives et les résultats générés à cet égard par le modèle CALMET ne sont pas corrigés.

Dans le but de calculer la production du parc éolien, les nouvelles séries chronologiques ainsi obtenues sont insérées dans une fonction de transfert représentative de chacun des parcs éoliens. Chacun des parcs a été modélisé en tenant compte des effets de topographie, de la rugosité, de l'effet de sillage des éoliennes les unes sur les autres et de la variation de la densité de l'air en fonction de la température. Cette modélisation s'appuie sur l'utilisation du logiciel WindFarm.

Finalement, les pertes typiques de production sont évaluées de manière détaillée et calculées indépendamment en fonction du type de perte et pour chaque site de production.

---

<sup>2</sup> Le gradient vertical de la température est défini comme la variation de la température en fonction de la hauteur. La valeur du gradient vertical de la température dans l'atmosphère standard est 0,65 °C par 100 m.

### 3 LE MODÈLE CALMET

#### 3.1 Données d'entrées du modèle CALMET

Les données d'entrée utilisées pour exécuter le modèle CALMET sont les suivantes :

- Données météorologiques :
  - Les données de surface provenant de stations météorologiques d'EC et de résultats de ré-analyses NCEP/NCAR en surface;
  - Les mesures en altitude de radiosondes;
  - Les données de mâts de mesures recueillies sur site.
- Données topographiques et de rugosité :
  - Une carte topographique et de rugosité à une résolution de 200 m.

Les mesures manquantes aux stations d'EC, tel que la couverture nuageuse, la hauteur du plafond nuageux et parfois la température, la pression atmosphérique et l'humidité ont été comblées avec des données provenant des résultats de ré-analyses de NCEP/NCAR.

Afin de maximiser le nombre de stations d'EC utilisées, trois périodes de simulation ont été définies : période de 1971 à 1984, période de 1985 à 1995 et période de 1996 à 2006. Tel que présentés au Tableau 3-1, le nombre de stations météorologiques d'EC pour lesquelles des données sont disponibles est plus faible entre 1971 et 1985. En plus, les données alors recueillies sont de moins bonne qualité que celles couvrant la portion plus contemporaine de l'historique. Ainsi, les résultats obtenus pour la première portion de l'historique ne pourront être aussi fiables que ceux obtenus pour les années postérieures à 1985.

La Figure 3-1 présente la localisation des stations météorologiques d'EC, du point NCEP et des radiosondes utilisées dans cette étude.

À titre d'information, les moyennes annuelles des vitesses du vent enregistrées à chaque station d'Environnement Canada sont présentées aux Figures 3-2 à 3-4.

**Tableau 3-1 : Données d'entrée du modèle CALMET pour chaque période de simulation**

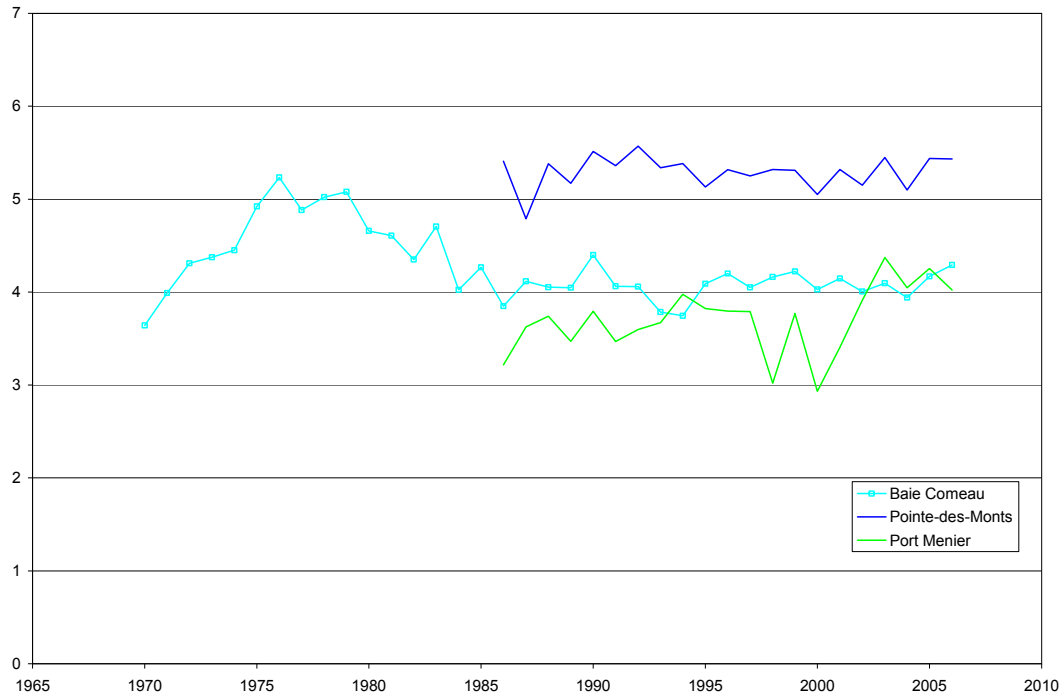
<b>Période de simulation</b>	1971-1984	1985-1995	1996-2006
<b>Stations EC</b>	Baie-Comeau Mont-Joli Miscou Island Charlo	Baie-Comeau Mont-Joli Miscou Island Charlo Pointe-des-Monts Cap d'Espoir Cap Madeleine Port Menier	Baie-Comeau Mont-Joli Miscou Island Charlo Pointe-des-Monts Cap d'Espoir Cap Madeleine Port Menier New Carlisle Cap Chat
<b>Point NCEP/NCAR données de surface</b>	47,5 N, 67,5 O	47,5 N, 67,5 O	47,5 N, 67,5 O
<b>Radiosondes</b>	Caribou	Caribou	Caribou Sept-Îles

Notes sur les données de stations météorologiques d'EC :

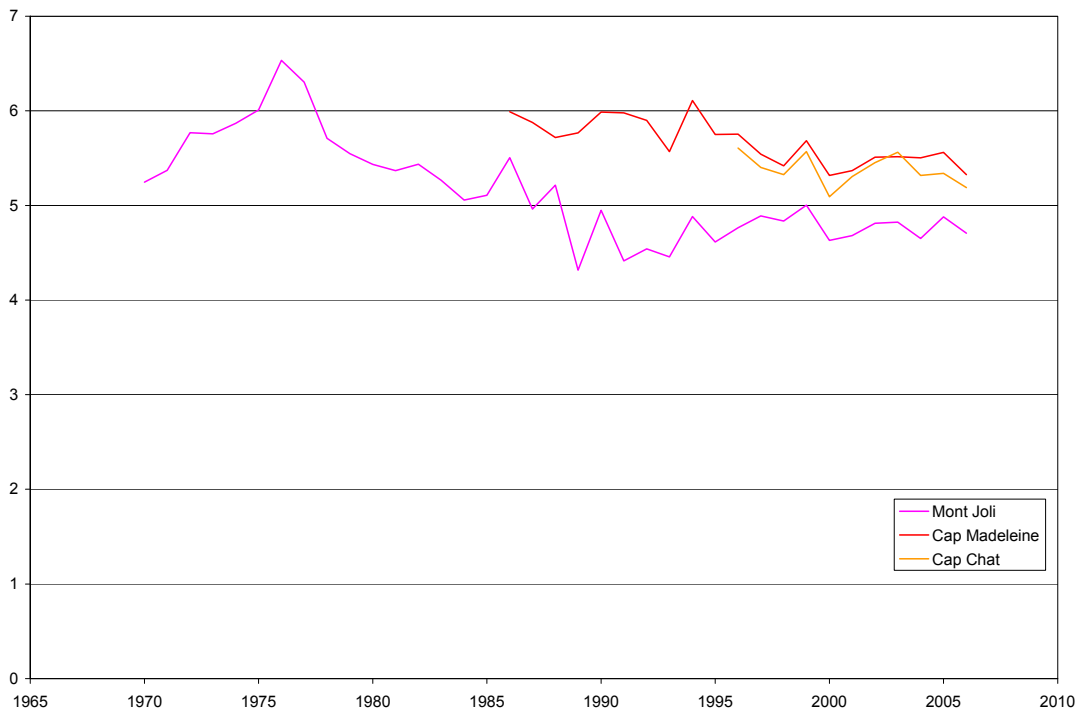
- Charlo :
  - mesures manquantes la nuit, entre 23 h et 5 h, entre 1991 et 2002;
  - la station arrête de fonctionner en mars 2003; aucune donnée à partir de cette date
  - elle est remplacée par une autre station en janvier 2004.
- Miscou Island :
  - mauvais recouvrement entre 1971 et 1975
  - données manquantes entre 1976 et 1980;
- Cap d'Espoir :
  - mauvais recouvrement pour l'année 1985;
  - données manquantes pour l'année 1987;
- Cap Madeleine :
  - mauvais recouvrement pour l'année 1985.



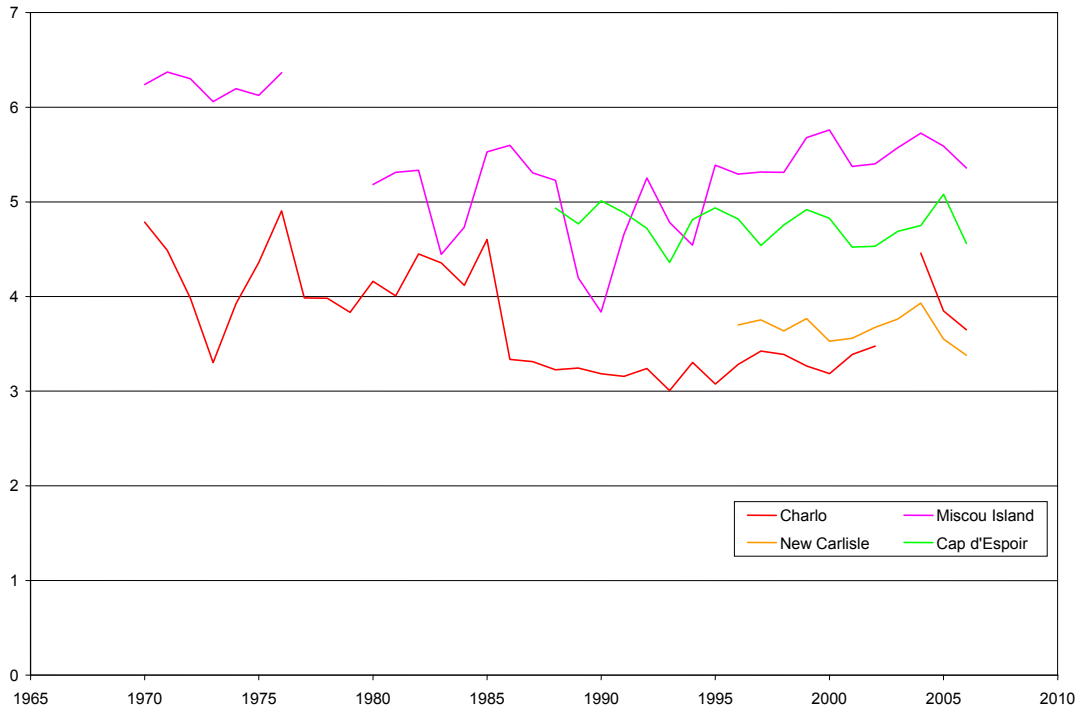
Figure 3-1 : Localisation des stations météorologiques d'EC, des radiosondes et du point NCEP dans la région de la Gaspésie



**Figure 3-2 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Baie-Comeau, Pointe-des-Monts et Port-Menier**



**Figure 3-3 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Mont-Joli, Cap-Madeleine et Cap-Chat**



**Figure 3-4 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent pour les stations de Charlo, Miscou Island, New-Carlisle et Cap d'Espoir**

## 4 MESURES SUR LES SITES DE PRODUCTION

Pour chaque site, un mât de mesure a été sélectionné comme étant représentatif du site de production. Une période d'un an ou deux, ayant le taux de recouvrement le plus élevé a été choisie pour calibrer le modèle CALMET, corriger les résultats portant sur la température, ainsi que pour calculer les coefficients d'extrapolation verticale.

Le Tableau 4-1 présente la liste des mâts de mesure utilisés et la période de comparaison correspondante. Pour le site de XXXXXX, les mois d'août et septembre 2005 ont un recouvrement très bas. En conséquence, ils ont été remplacés par les mois d'août et septembre 2004.

**Tableau 4-1 : Période de comparaison entre les mesures et les simulations pour chaque site de production**

rc	No. de mât de mesure	Coordonnées Géographiques		Niveau de mesure	Date début	Date fin
		Lat	Long			
Baie-des-Sables	HMG1108	48° 42' 58,00"	67° 49' 35,00"	60 m	2005-10-01	2006-09-30
Saint-Ulric	HQD1102	48° 45' 35,90"	67° 41' 43,30"	50 m	2005-01-01	2006-12-31
Les Méchins	IX20111	48° 57' 59,81"	67° 00' 34,13"	60 m	2005-01-01	2005-12-31
Montagne-Sèche	IX21110	49° 10' 37,79"	49° 10' 37,80"	60 m	2003-10-01	2004-09-30
Mont-Louis	HQD1111	49° 11' 50,81"	65° 39' 52,12"	50 m	2003-11-01	2004-10-31
Gros-Morne	IX21111	49° 12' 1,70"	65° 30' 35,50"	60 m	2003-11-01	2004-10-31
Anse-à-Valleau	IX21107	49° 6' 45,50"	64° 39' 12,51"	60 m	2005-01-01	2005-12-31
Carleton	IX21114	48° 10' 34,00"	66° 07' 27,00"	40 m	2005-01-01	2005-12-31

## 5 RÉSULTATS DES SIMULATIONS ET DE L'EXTRAPOLATION VERTICALE

Pour chaque site de production, les simulations CALMET ont été réalisées sur des grilles d'une résolution de 200 m. À partir des simulations, les séries temporelles au point de grille le plus proche du mât sélectionné pour chaque site (voir le Tableau 3-1) ont par la suite été extraites.

Tel qu'expliqué à la section 2, les résultats du modèle CALMET à 10 m ont été extrapolés verticalement afin de représenter les conditions prévalant à la hauteur du moyeu des éoliennes, soit 80 m et les mesures enregistrées au niveau supérieur du mât de mesure, conformément à la méthode exposée à la section 2.

Le Tableau 5-1 présente les coefficients de détermination  $R^2$  entre les séries chronologiques ajustées à la hauteur du moyeu des éoliennes et les mesures recueillies aux plus hauts niveaux des mâts météorologiques pour chaque site de production. Les coefficients de détermination ont été estimés à partir des données horaires.

**Tableau 5-1 : Coefficients de détermination entre les simulations et les mesures**

Site	$R^2$ vitesse de vent	$R^2$ direction	$R^2$ température
Baie-des-Sables	0,64	0,67	0,97
Saint-Ulric	0,51	0,67	0,97
Les Méchins	0,35	0,45	0,96
Montagne-Sèche	0,48	0,36	0,95
Mont-Louis	0,41	0,27	0,94
Gros-Morne	0,40	0,30	0,94
Anse-à-Valeau	0,44	0,46	0,96
Carleton	0,52	0,58	0,95

Il est à noter que les mesures au site de Gros-Morne ont un taux de recouvrement bas. Pour pallier cette carence, les coefficients d'extrapolation verticale calculés pour le site de Mont-Louis ont été utilisés pour déterminer les vitesses à 80 m au site de Gros-Morne. Les données mesurées au mât de Gros-Morne sont tout de même présentées pour fins de comparaison dans ce qui suit.

Les figures 5-1, 5-2, 5-5 et 5-6 permettent de comparer les séries chronologiques reconstituées avec les observations des mâts de mesure, pour les périodes définies au Tableau 4-1. Toutefois, les comparaisons graphiques utilisent des moyennes mensuelles ou horaires pour des raisons de lisibilité. Par ailleurs, les figures 5-3, 5-4, 5-7 et 5-8 présentent les résultats des séries chronologiques reconstituées de vent et de température pour l'ensemble de la période de 1971 à 2006. La Figure 5-3 présente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent, tandis que la Figure 5-4 présente les moyennes horaires des vitesses du vent. Finalement, la Figure 5-7 présente les moyennes mensuelles de la température pour les 36 ans de simulation, alors que la Figure 5-8 présente les moyennes horaires.

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

**Figure 5-1 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent par rapport aux observations**

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont Louis CONFIDENTIEL	St Ulric CONFIDENTIEL

Figure 5-2 : Moyenne horaire de la vitesse du vent par rapport aux observations

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-3 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent pour les 36 ans de simulation

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-4 : Moyenne horaire de la vitesse du vent pour les 36 ans de simulation

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-5 : Moyenne mensuelle de la température par rapport aux observations

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-6 : Moyenne horaire de la température par rapport aux observations

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-7 : Moyenne mensuelle de la température pour les 36 ans de simulation

Anse à Valleau CONFIDENTIEL	Baie des Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

Figure 5-8 : Moyenne horaire de la température du vent pour les 36 ans de simulation

## 6 MÉTHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DE LA PRODUCTION HORAIRE

### 6.1 Estimation de la production brute

Chacun des parcs a été modélisé par une table de puissance tenant compte de l'emplacement des éoliennes sur le site de production, des effets de topographie, de la rugosité, de sillage turbulent et de la variation de la densité de l'air en fonction de la température. Cette modélisation s'appuie sur l'utilisation du logiciel WindFarm. Les courbes de puissance et les configurations de parcs utilisées sont fournies en annexe.

Pour chaque parc, la table de puissance se présente comme un tableau à trois entrées correspondant à la vitesse et la direction du vent à une hauteur de 80 m du sol, ainsi qu'à la température du site, supposée uniforme sur l'étendue d'un site de production.

Les données horaires météorologiques reconstituées fournies par les simulations pour chaque parc conduisent alors à des estimations de la puissance brute du parc en moyenne horaire  $P_B$ .

La production horaire brute  $E_B$  est ensuite estimée par un simple produit à partir de  $P_B$  :

$$E_B = P_B \times 1 \text{ heure}$$

À la demande du Client, ce calcul a été effectué pour tous les parcs et pour chaque heure du 1<sup>er</sup> janvier 1971 au 31 décembre 2006.

### 6.2 Estimation de la production nette

La production horaire nette  $E_N$  est calculée pour chaque heure du 1<sup>er</sup> janvier 1971 au 31 décembre 2006 à partir de la production brute  $E_B$  en considérant les pertes suivantes :

- $E_0$  : Pertes de chauffage (kWh) ;
- $P_1$  : Pertes électriques (%);
- $P_2$  : Pertes pour contaminations des pales (%);
- $P_3$  : Pertes de dégradation des pales (%);
- $P_4$  : Pertes pour gel et glace (icing) (%);
- $P_5$  : Pertes de non disponibilité du réseau (0,00 %);
- $P_6$  : Pertes pour températures froides (%);
- $P_7$  : Pertes pour températures chaudes (%);
- $P_8$  : Pertes pour pannes (%);
- $P_9$  : Pertes pour maintenance (%).

selon la formule :

$$E_N = E_B \times \eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_9 - E_0$$

où :

$$\eta_i = 1 - P_i / 100 : \text{ Facteur de conversion brut/net pour les diverses pertes décrites ci-dessus}$$

La méthode de simulation des pertes est décrite en Annexe A.

Il est à noter que, à la demande du Client, les pertes dues à la non-disponibilité du réseau électrique de transport et de distribution d'Hydro-Québec (P<sub>5</sub>) ont été considérées comme nulles.

## 7 RÉSULTATS

Les résultats présentés dans cette section constituent un résumé succinct de l'ensemble des données fournies au Client sous format électronique. Les figures qui suivent présentent les moyennes annuelles des productions brutes et nettes, les taux de pertes totales et pour chaque type de pertes.

Il est important de noter les éléments suivants lors de l'interprétation des résultats :

- Les productibles calculés dépendent fortement de la qualité des données météorologiques reconstituées. L'ensemble des incertitudes concernant les données historiques, en particulier entre 1971 et 1985, affectent fortement la précision des estimations de production.
- Les configurations de parcs utilisées dans cette étude (voir annexe) correspondent aux dernières données disponibles, ou rendues publiques selon le cas, lors de l'élaboration de ce rapport. À l'exception du parc de Baie-des-Sables, les autres configurations peuvent être sujettes à des modifications par les promoteurs.
- Les courbes de puissances (Annexe C) et de traînée utilisées pour les modélisations sont des courbes génériques garanties publiées par le constructeur. Les courbes réelles des éoliennes après leur mise en service pourraient avoir des caractéristiques différentes.
- Les pertes utilisées pour l'estimation des productibles nets sont fournies à titre indicatif et ne sauraient remplacer une étude exhaustive et plus poussée. Aussi, à la demande du Client et compte tenu de l'utilisation qu'il entend faire des séries historiques reconstituées, il était préférable de modéliser certaines pertes à l'aide de taux moyens, plutôt que d'utiliser des hypothèses de dates de mise en service des parcs. Conséquemment, les estimations sont basées sur des méthodes simplificatrices nécessaires pour pallier à l'absence d'informations détaillées telles que :
  - les dates précises de mise en service des parcs;
  - les programmes d'O&M;
  - les durées de vie réelles des parcs;
  - les programmes de réhabilitation vers la 20<sup>e</sup> année et au-delà;
  - etc.
- Certaines pertes horaires simulées correspondent à des tirages aléatoires individuels, éolienne par éolienne et non à des moyennes.

En fonction de l'utilisation que le Client entend faire des séries chronologiques, des hypothèses de pertes différentes pourraient être utilisées. Par exemple, le Client pourrait substituer un scénario de pertes croissantes après la date de mise en service, par une hypothèse de pertes moyennes reflétant l'âge moyen des parcs en service à un horizon précis de planification. L'information contenue à l'annexe A ainsi que la structure des fichiers transmis au Client permettent une telle manipulation.

<p>Anse-à-Valleau</p> <p>CONFIDENTIEL</p>		<p>Baie-des-Sables</p> <p>CONFIDENTIEL</p>	
<p>Carleton</p> <p>CONFIDENTIEL</p>		<p>Gros-Morne</p> <p>CONFIDENTIEL</p>	
<p>Les Méchins</p> <p>CONFIDENTIEL</p>		<p>Montagne-Sèche</p> <p>CONFIDENTIEL</p>	
<p>Mont-Louis</p> <p>CONFIDENTIEL</p>		<p>St-Uric</p> <p>CONFIDENTIEL</p>	

Figure 7-1 : Productions annuelles des parcs éoliens

Anse-à-Valleau CONFIDENTIEL	Baie-des-Sables CONFIDENTIEL
Carleton CONFIDENTIEL	Gros-Morne CONFIDENTIEL
Les Méchins CONFIDENTIEL	Montagne-Sèche CONFIDENTIEL
Mont-Louis CONFIDENTIEL	St-Uric CONFIDENTIEL

**Figure 7-2 : Pertes relatives annuelles des parcs éoliens**

## ANNEXE A MÉTHODOLOGIE D'ESTIMATION DES PERTES

Cette section fournit les éléments nécessaires à la simulation des pertes énergétiques. Les paramètres de simulation sont résumés à l'Annexe B.

### Pertes de chauffage

Les pertes de chauffage sont calculées en kWh pour chaque éolienne en fonction de la vitesse du vent et de la température du site. Les calculs sont basés sur un tableau à double entrée vitesse-température fourni par GE. Les pertes par chauffage n'interviennent que lorsque la température descend en deçà de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Contrairement à tous les autres types de pertes, les pertes de chauffage sont calculées de façon absolue et ne sont pas exprimées en pourcentage de la production. Par conséquent, il est possible, dans des cas extrêmes de faibles vitesses et de basses températures, que la production nette du parc éolien soit négative.

### Pertes électriques

Les pertes électriques globales sont supposées constantes et égales à 2,50 % de la production instantanée. Pour le parc éolien Baie-des-Sables, basée sur l'expérience, cette perte est réévaluée à 1,80 %.

### Perte par contamination des profils aérodynamiques

Les pertes par contamination sont supposées évoluer en fonction du temps selon l'équation suivante :

$$P_2(t) = 0,01 (1 - e^{-t/T_C})$$

Équation 1

Dans l'Équation 1,  $P_2$  représente la perte relative en pourcentage,  $t$  représente le temps, en années écoulé depuis le dernier nettoyage, lesquels nettoyages ont lieu le 1<sup>er</sup> juin tous les 2 ans.  $T_C$  est la constante de temps supposée égale à 6 mois. Lors des nettoyages périodiques les pertes par contamination sont ramenées à zéro.

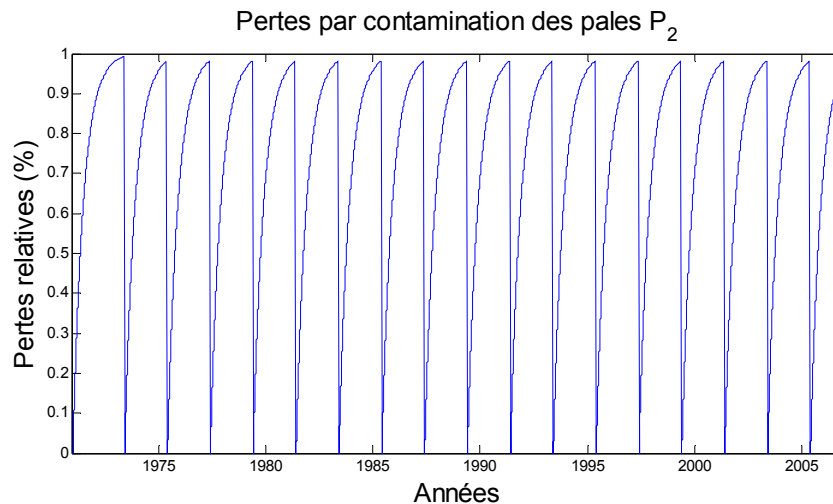


Figure A-1 : Modélisation des pertes reliée à la contamination des pales

## Pertes par dégradation des profils aérodynamiques

Les pertes dues à la dégradation des profils aérodynamiques sont supposées évoluer en fonction du temps selon l'équation suivante:

$$P_3(t) = 0,01 (1 - e^{-t/T_D})$$

Équation 2

Dans l'Équation 2,  $P_3$  représente la perte relative en pourcentage,  $t$  représente le temps écoulé depuis la mise en service d'un parc exprimé en années et  $T_D$  est la constante de temps supposée égale à 5 ans. Au bout de 30 ans, les pertes relatives seront très proches de 1,0 %.

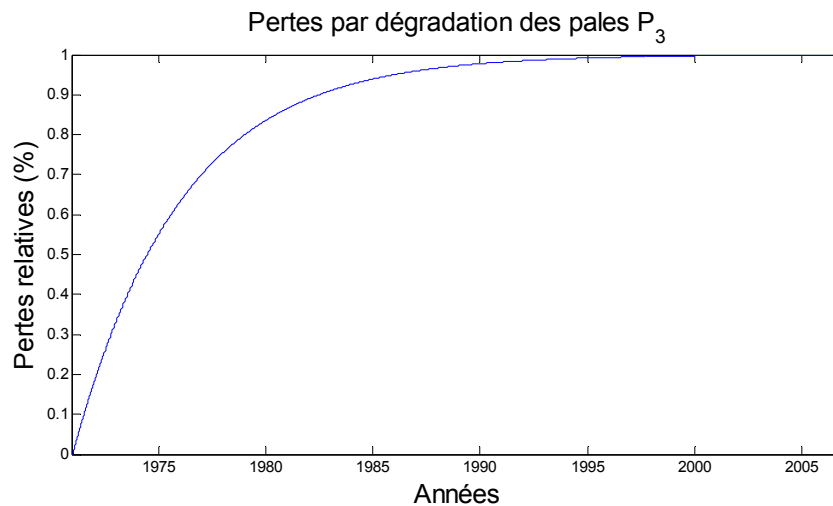


Figure A-2 : Modélisation des pertes pour dégradations des pales

## Pertes liées aux périodes de gel et à la glace (icing)

Les périodes de gel sont déterminées par tirages aléatoires de journées entières durant les mois de décembre, janvier, février et mars de chaque année et en accord avec les conditions propices à l'apparition de gel (voir référence au Tableau A-1). Le nombre d'occurrences est ajusté en fonction du nombre de journées de gel observé sur chaque site à partir des mâts de mesure et des informations disponibles aux stations d'Environnement Canada. Ces valeurs sont résumées dans le Tableau A-1.

**Tableau A-1 : Tirage aléatoire du nombre annuel de jours de gel**

Parc éolien	Loi tirage aléatoire	Moyenne annuelle de jours de gel	Écart-type de jours de gel annuels
Anse-à-Valleau	Gaussienne	12	6
Baie-des-Sables	Gaussienne	12	6
Carleton	Gaussienne	15	7,5
Gros-Morne	Gaussienne	15	7,5
Les Méchins	Gaussienne	14	7
Mont-Louis <sup>3</sup>	Gaussienne	15	7,5
Montagne-Sèche	Gaussienne	12	6
St-Ulric <sup>4</sup>	Gaussienne	12	6

Durant les périodes de gel, on considère une perte totale pour la moitié des éoliennes et une dégradation de 25 % des performances des éoliennes restantes; soit une perte globale de 62,5 %.

### Perte réseau

A la demande du Client, aucune perte due à la non-disponibilité du réseau de transport et de distribution d'Hydro-Québec n'a été prise en compte. Par ailleurs, aucune perte liée à la non-disponibilité du réseau collecteur des parcs éoliens n'a été prise en compte non plus.

### Pertes liées aux températures trop basses

Les éoliennes sont à l'arrêt à des températures en dessous de -30°C. Elles ne reprennent leur fonctionnement que lorsque la température remonte au-dessus de -24°C. Lorsque ce type d'événement survient le taux de perte est de 100 %.

### Pertes liées aux températures trop élevées

Les éoliennes sont à l'arrêt à des températures supérieures à +40°C. Lorsque ce type d'événement survient le taux de perte est de 100 %.

### Pertes liées aux opérations de maintenance

Des périodes de maintenance sont en général prévues après le rodage (500 heures de fonctionnement), puis tous les 6 mois. Des inspections annuelles plus importantes sont également réalisées. Par ailleurs, tous les 5 ans, des interventions plus complètes, dont des changements d'huile de la boîte de transmission, sont en général prévues. Enfin, l'inspection des 10 ans est encore plus exhaustive et comprend habituellement des changements majeurs de composants usés.

Les heures de maintenance sont a priori réparties de façon à réduire leur impact sur la production. Pour cette raison, les inspections les plus importantes (annuelles, 5 ans et 10 ans) sont plutôt planifiées en été tandis que les autres (inspections de 6 mois) sont effectuées de préférence l'hiver.

Une modélisation fine tiendrait compte de chaque type d'inspection avec sa durée d'intervention spécifique.

<sup>3</sup> De 12 à 18 selon données Northland.

<sup>4</sup> Seulement 4 journées selon les données que Northland a fournies au Client. La valeur qui figure au tableau a été choisie en fonction de la proximité avec Baie-des-Sables.

Pour la présente étude, une modélisation simplifiée a été adoptée pour les raisons suivantes :

- Absence de plans précis d'O&M;
- Absence de date précise de démarrage des parcs;
- Durée de simulation de 36 ans bien supérieure à la durée de vie typique de 20 ans pour un parc éolien.

La simulation retenue pour cette étude tient compte d'une durée moyenne de 76 heures d'intervention de maintenance par éolienne et par an. Cette valeur correspond à une moyenne typique pour un parc éolien de 100 MW d'une durée de vie de 20 ans. Une répartition saisonnière de ces interventions impliquant un nombre suffisant d'équipes de maintenance travaillant en parallèle a été supposée, comme indiquée au Tableau A-2.

Il est important de mentionner qu'en fonction de l'utilisation que le Client entend faire des séries chronologiques, différentes hypothèses de pertes pour maintenance pourront être utilisées.

**Tableau A-2 : Répartition annuelle de la maintenance préventive**

Type d'inspection	Durée annuelle	Période	Horaire
6 mois	32 heures / éolienne	janvier – février – mars	9 h 00 – 16 h 00
1 an	44 heures / éolienne	juin – juillet – août	9 h 00 – 16 h 00

## Pertes liées aux pannes

Les pertes dues aux pannes des éoliennes ont été évaluées en considérant les composantes suivantes :

- Systèmes électriques;
- Système de régulation électronique;
- Capteurs;
- Systèmes de contrôle du pas variable;
- Système de contrôle d'orientation;
- Pales;
- Freins mécaniques;
- Moyeu;
- Boîte de transmission;
- Générateur;
- Éléments structuraux;
- Arbre de transmission.

Les pannes ont été simulées par des tirages aléatoires en respectant les temps moyens entre pannes<sup>5</sup> pour chaque catégorie et en augmentant les fréquences de panne afin de tenir compte du vieillissement des machines. Les durées moyennes de non disponibilité des éoliennes pour chaque catégorie de panne ont été simulées par des tirages aléatoires en respectant les temps moyens d'attente et de réparation. Ces temps moyens ont été estimés en classant les types d'intervention en différentes catégories allant d'une simple remise à zéro à distance (RAZ) à des opérations plus importantes de réparation avec remplacement de pièces majeures.

<sup>5</sup> Mean-Time-Between-Failures en anglais.

Les pannes ont été simulées pour chaque éolienne de façon indépendante les unes des autres. Il est donc possible, a priori, que plusieurs éoliennes soient en pannes simultanément.

Les différents types de pannes ont également été simulés de façon indépendante mais en évitant les pannes multiples sur la même éolienne en supposant cette probabilité comme étant très faible.

**Tableau A-3 : Tirage aléatoire des non-disponibilités dues aux pannes**

Description	Loi tirage aléatoire	Paramètres
Occurrence des pannes	Exponentielle	Fréquence moyenne annuelle de pannes + croissance de 2 % par an
Durée des arrêts pour chaque occurrence de panne	Gaussienne	Durée moyenne de non disponibilité + écart-type de 50 %

La fréquence annuelle des pannes, toutes catégories confondues, est de 2,55 pannes/an/éolienne pour la première année. Elle augmente de 2 % par an. La durée moyenne des réparations, toutes pannes confondues, est de 3 jours par panne. Elle est supposée constante au fil du temps.

## ANNEXE B DESCRIPTION DES PARAMÈTRES DE SIMULATION DES PERTES

Description des paramètres de simulation des pertes

Type de perte	Valeur relative	Distribution annuelle	Références
Électrique (lignes, transformateurs, etc.)	2,5 % <sup>6</sup>	Uniforme	Expérience d'Hélimax
Chauffage	de 0 à 0,6 % par éolienne	Selon vitesses et températures	Document interne Hélimax fourni par GE
Profilis aérodynamiques – Contamination	de 0 à 1 %	Progressive sur 2 ans	<i>Insects Cause Double Stall</i> , G. P. Corten & H. F. Feldcamp. EWEC 2001, Copenhague. Expérience d'Hélimax
Profilis aérodynamiques – Dégradation	de 0 à 1 %	Progressive sur 30 ans	Expérience d'Hélimax
Glace (Icing) (arrêts, pertes de performances)	62,5 %	Aléatoire de décembre à mars de chaque année	<i>Estimating the hazard of ice accretion in Canada from climatological data</i> , McKay & Thomson, Journal of Applied Meteorology, 1969, Vol. 8, pp. 927-935. <i>Cold Weather Wind Turbine Operation</i> , Présentation GE Wind Energy. Natural Resources Canada, 12 fév. 2004
Températures (Arrêt total pour températures extrêmes)	100 %	Selon température	<a href="http://www.gepower.com/prod_serv/products/wind_turbines/en/downloads/ge_15_brochure.pdf">http://www.gepower.com/prod_serv/products/wind_turbines/en/downloads/ge_15_brochure.pdf</a>
Disponibilité du réseau	0,0 %	Uniforme	Demande du Client
Maintenance	100 % par éolienne	Bi-annuelle. 76 heures par an par éolienne dont 32 en hiver et 44 en été	Wind Energy Report Germany 2005/2006 – ISET Expérience d'Hélimax
Pannes	100 % par éolienne	Aléatoire	Wind Energy Report Germany 2005/2006 – ISET Expérience d'Hélimax

<sup>6</sup> À l'exception du parc de Baie-des-Sables où les pertes électriques sont estimées à 1,8 %.

## ANNEXE C

## COURBES DE PUISSANCE ET DE TRAINÉE

Courbes de puissance et de traînée de la GE 1.5sle<sup>7</sup>

Vitesse du vent (m/s)	Puissance (kW)	Vitesse du vent (m/s)	Coefficient de traînée
≤ 3,0	0	3	1,27
3,5	20	4	1,03
4,0	43	5	0,91
4,5	83	6	0,89
5,0	131	7	0,89
5,5	185	8	0,87
6,0	250	9	0,8
6,5	326	10	0,69
7,0	416	11	0,55
7,5	521	12	0,42
8,0	640	13	0,32
8,5	785	14	0,25
9,0	924	15	0,2
9,5	1062	16	0,17
10,0	1181	17	0,14
10,5	1283	18	0,12
11,0	1359	19	0,1
11,5	1402	20	0,09
12,0	1436	21	0,07
12,5	1463	22	0,07
13,0	1481	23	0,06
13,5	1488	24	0,05
14,0	1494	25	0,05
≥ 14,5	1500	–	–

<sup>7</sup> Le tableau est fourni par le fabricant pour une densité de l'air de 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

## ANNEXE D CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN ANSE-À-VALLEAU

Les coordonnées des éoliennes<sup>8</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 5, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>9</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1	289744	5443403	186	27	290790	5438721	327	53	295911	5437886	341
2	290378	5442986	181	28	290899	5438998	318	54	296157	5438456	323
3	291087	5442661	190	29	291919	5438682	305	55	297181	5437651	322
4	289999	5443122	191	30	291202	5439391	320	56	297247	5437862	309
5	291491	5442429	183	31	291445	5439496	313	57	297582	5437194	337
6	292422	5442130	217	32	291643	5439651	311	58	297653	5437665	329
7	293463	5439250	311	33	291849	5439706	306	59	297870	5437815	317
8	292959	5442050	227	34	292061	5439760	299	60	297278	5437376	340
9	293783	5438977	304	35	292276	5439859	304	61	298070	5437256	337
10	293122	5441810	241	36	292343	5438792	325	62	298443	5436613	322
11	293875	5441504	212	37	293696	5439706	292	63	298654	5437452	285
12	293606	5441626	222	38	292988	5439558	306	64	296525	5438348	316
13	294162	5441347	194	39	293185	5439711	317	65	295826	5438581	325
14	290811	5442867	180	40	293512	5438619	321	66	298774	5436514	323
15	293577	5439476	308	41	293926	5439199	304	67	290351	5440015	298
16	292924	5439358	298	42	294101	5439492	288				
17	292831	5439024	304	43	294550	5438322	341				
18	289983	5440086	308	44	294523	5438709	306				
19	293204	5439116	308	45	294746	5438890	308				
20	289876	5439865	320	46	294838	5439107	319				
21	290106	5440351	294	47	294932	5438599	322				
22	290272	5440479	299	48	295065	5438147	348				
23	290550	5440577	312	49	295359	5438233	340				
24	291229	5440420	305	50	295390	5438671	315				
25	290130	5439467	313	51	295434	5438873	323				
26	290322	5439688	306	52	295692	5437847	342				

<sup>8</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L17-376HQ-AAV1(IX21101)-(80-6,7)-20070305-DF.WLX.

<sup>9</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE E CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN BAIE-DES-SABLES

Les coordonnées des éoliennes<sup>10</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 6, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>11</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1	271311	5392247	153	27	276023	5392655	190	53	279837	5399780	45
2	271617	5392480	137	28	276161	5392897	188	54	280203	5399726	50
3	271826	5392762	114	29	276426	5392323	173	55	279506	5399447	43
4	272023	5393099	91	30	276674	5393275	180	56	279823	5399289	50
5	272297	5393443	82	31	277003	5393116	180	57	278700	5398875	40
6	272122	5393834	80	32	276800	5393574	180	58	280002	5399024	54
7	272503	5394049	86	33	271318	5392749	90	59	281498	5398636	90
8	272884	5394357	84	34	277247	5394141	180	60	278961	5398583	44
9	273264	5394598	80	35	271380	5392011	149	61	278569	5398448	45
10	275513	5396684	88	36	277677	5394849	164	62	278347	5398109	51
11	272736	5393844	88	37	276113	5395108	109	63	277866	5397631	66
12	273144	5394084	90	38	277069	5392253	181	64	278208	5397132	79
13	273906	5394492	86	39	273411	5394362	87	65	275695	5396867	89
14	274666	5393637	151	40	276332	5395293	100	66	274753	5395939	73
15	280378	5397421	91	41	278310	5393437	164	67	282889	5400520	39
16	275503	5394650	118	42	278674	5394044	150	68	283209	5400192	51
17	275788	5394892	115	43	277290	5397220	87	69	282298	5399792	70
18	275453	5395219	100	44	277474	5397454	74	70	282189	5398987	101
19	275980	5395600	112	45	277360	5397859	65	71	282807	5399484	89
20	275570	5395779	90	46	281638	5398921	87	72	282642	5399100	85
21	275072	5396249	80	47	277780	5397073	91	73	283251	5398658	100
22	275313	5396415	88	48	277965	5398894	39				
23	276215	5396118	105	49	281219	5398060	100				
24	275257	5391588	198	50	283687	5400522	40				
25	280797	5397744	91	51	279286	5399656	39				
26	275909	5392210	198	52	279957	5400138	40				

<sup>10</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L27-127BDS1(HMG1108)-(80-2,7)-20070305-DF00.WLX.

<sup>11</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE F CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN CARLETON

Les coordonnées des éoliennes<sup>12</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 6, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>13</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				27				53			
2				28				54			
3				29				55			
4				30				56			
5				31				57			
6				32				58			
7				33				59			
8				34				60			
9				35				61			
10				36				62			
11				37				63			
12				38				64			
13				39				65			
14				40				66			
15				41				67			
16				42				68			
17				43				69			
18				44				70			
19				45				71			
20				46				72			
21				47				73			
22				48							
23				49							
24				50							
25				51							
26				52							

<sup>12</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L11-376CARL1(IX21114)-(80-6\_7)-MS.WLX.

<sup>13</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE G CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN GROS-MORNE

Les coordonnées des éoliennes<sup>14</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 5, WGS84.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>15</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				32				63			
2				33				64			
3				34				65			
4				35				66			
5				36				67			
6				37				68			
7				38				69			
8				39				70			
9				40				71			
10				41				72			
11				42				73			
12				43				74			
13				44				75			
14				45				76			
15				46				77			
16				47				78			
17				48				79			
18				49				80			
19				50				81			
20				51				82			
21				52				83			
22				53				84			
23				54				85			
24				55				86			
25				56				87			
26				57				88			
27				58				89			
28				59				90			
29				60				91			
30				61				92			
31				62				93			

<sup>14</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L02-127GRM1(IX21111)-20061222-YB.WLX.

<sup>15</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

**Coordonnées des éoliennes dans la configuration du parc éolien (suite)**

<b>No. Éolienne</b>	<b>Est (m)</b>	<b>Nord (m)</b>	<b>Altitude<sup>16</sup> (m)</b>	<b>No. Éolienne</b>	<b>Est (m)</b>	<b>Nord (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>
94				125			
95				126			
96				127			
97				128			
98				129			
99				130			
100				131			
101				132			
102				133			
103				134			
104				135			
105				136			
106				137			
107				138			
108				139			
109				140			
110				141			
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
119							
120							
121							
122							
123							
124							

<sup>16</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE H CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN LES MÉCHINS

Les coordonnées des éoliennes<sup>17</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 6, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>18</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				27				53				78			
2				28				54				79			
3				29				55				80			
4				30				56				81			
5				31				57				82			
6				32				58				83			
7				33				59				84			
8				34				60				85			
9				35				61				86			
10				36				62				87			
11				37				63				88			
12				38				64				89			
13				39				65				90			
14				40				66				91			
15				41				67				92			
16				42				68				93			
17				43				69				94			
18				44				70				95			
19				45				71				96			
20				46				72				97			
21				47				73				98			
22				48				74				99			
23				49				75				100			
24				50				76							
25				51				77							
26				52				78							

<sup>17</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L13-376LMC1(HMG1219)-(80-4,7)-20060808-SC.WLX.

<sup>18</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE I CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN MONT-LOUIS

Les coordonnées des éoliennes<sup>19</sup> sont présentées dans le système de coordonnées UTM Zone 20, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>20</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				27				53				64			
2				28				54				65			
3				29				55				66			
4				30				56				67			
5				31				57				64			
6				32				58				65			
7				33				59				66			
8				34				60				67			
9				35				61							
10				36				62							
11				37				63							
12				38				64							
13				39				65							
14				40				66							
15				41				67							
16				42				53							
17				43				54							
18				44				55							
19				45				56							
20				46				57							
21				47				58							
22				48				59							
23				49				60							
24				50				61							
25				51				62							
26				52				63							

<sup>19</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L04-376HQ-MTL1(HQD1111)-(80-3,3)-20070305-DF.WLX.

<sup>20</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE J CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN MONTAGNE-SÈCHE

Les coordonnées des éoliennes<sup>21</sup> sont présentées dans le système de coordonnées MTM Zone 6, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>22</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				27			
2				28			
3				29			
4				30			
5				31			
6				32			
7				33			
8				34			
9				35			
10				36			
11				37			
12				38			
13				39			
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							

<sup>21</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L01-376MSC1(HM21105)-20061121-YB.WLX.

<sup>22</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE K CONFIGURATION DU PARC ÉOLIEN SAINT-ULRIC

Les coordonnées des éoliennes<sup>23</sup> sont présentées dans le système de coordonnées UTM Zone 19, Nad83.

No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude <sup>24</sup> (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	No. Éolienne	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)
1				94				170				289			
17				96				171				291			
18				97				172				294			
25				98				185				295			
30				100				186				296			
31				101				192				299			
36				106				195				308			
37				107				198				309			
41				127				202				311			
43				130				208				312			
44				132				212				313			
52				140				214				314			
59				143				218				315			
63				144				219				317			
67				145				220				318			
68				146				224				319			
74				148				225				320			
75				150				227				321			
76				151				235				322			
77				152				240				323			
87				158				277				324			
88				159				278				325			
89				162				279							
90				163				280							
91				167				282							
92				169				287							

<sup>23</sup> Référence: document interne Hélimax, Configuration no. L36-376HQ-STU1(HQD1102)-(80-XX)-20070319-DF.WLX.

<sup>24</sup> Altitude au-dessus du niveau de la mer.

## ANNEXE L DESCRIPTION DES FICHIERS RÉSULTATS

Les fichiers numériques résultats se présentent sous forme de tableaux de 20 colonnes. La première ligne comporte les en-têtes des colonnes. Les lignes suivantes correspondent à chaque heure entre le 1<sup>er</sup> janvier 1971 minuit et le 31 décembre 2006 minuit. Les 20 colonnes correspondent respectivement à :

- Colonnes 1 à 4 : année, mois, jour, heure;
- Colonnes 5 à 7 : Direction vent à 80 m (degrés), vitesse vent à 80 m (m/s), température à 80 m (degrés Celsius) à la verticale du mât de mesure;
- Colonnes 8 à 10 : Puissance brute (kW), Puissance nette (kW), Pertes totales (kWh);
- Colonne 11 : Pertes pour chauffage des éoliennes (kW). Il s'agit de la seule perte calculée de façon absolue en fonction de la température et de la vitesse et indépendamment de la production.
- Colonnes 12 à 20 : Les autres types de pertes estimées comme une fraction de la production brute. Chaque colonne exprime les pertes en pourcentage arrondies à 2 chiffres après la virgule :
  - P1 : Pertes électriques (%)
  - P2 : Pertes pour contamination des pales (%)
  - P3 : Pertes de dégradation des pales (%)
  - P4 : Pertes pour gel et glace (icing) (%)
  - P5 : Pertes de non-disponibilité du réseau (0,00 %)
  - P6 : Pertes pour températures froides (%)
  - P7 : Pertes pour températures chaudes (%)
  - P8 : Pertes pour pannes (%)
  - P9 : Pertes pour maintenance (%)

Il est à noter que les pertes P4 et P8 correspondent à des tirages aléatoires sur une base horaire.