

**ÉVALUATION DE LA CONTRIBUTION EN PUISSANCE  
DE LA PRODUCTION ÉOLIENNE SOUS CONTRAT  
AVEC HYDRO-QUÉBEC DISTRIBUTION**

**Avril 2019**  
**(Révision 26 avril 2019)**

---



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DONNÉES DE PRODUCTION ÉOLIENNE.....</b>	<b>3</b>
2.1. Reconstitution de séries de données historiques.....	3
2.2. Profils mensuels de production: comparaison des séries AWS et Hélimax.....	5
<b>3. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR ESTIMER LA CONTRIBUTION EN PUISSANCE À LA POINTE .....</b>	<b>6</b>
3.1. Démarche de modélisation.....	6
<b>4. UTILISATION DU MODÈLE MARS ET RÉSULTATS.....</b>	<b>6</b>
4.1. Intrants utilisés dans le modèle MARS .....	7
4.1.1. <i>Utilisation des données éoliennes dans MARS</i> .....	7
4.2. Résultats du modèle MARS .....	7
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>8</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>9</b>
<b>ANNEXE : LOCALISATION DES PARCS ÉOLIENS SOUS CONTRAT AVEC LE DISTRIBUTEUR .....</b>	<b>11</b>

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des modèles et des intrants - Séries Hélimax et AWS.....	4
Tableau 2 : Résultats détaillés du modèle MARS – Séries AWS .....	8
Tableau A1 : Localisation des parcs éoliens sous contrat avec le Distributeur.....	13
Figure 1 : Comparaison du facteur d'utilisation pour la période 1979-2006 entre les séries AWS et Hélimax.....	5



## 1. INTRODUCTION

Cette étude vise à mettre à jour l'estimation de la contribution en puissance de la production éolienne sous contrat avec Hydro-Québec Distribution (le Distributeur). L'étude précédente, réalisée en 2009 et présentée à la Régie, se basait sur les séries historiques de production éolienne reconstituées par la firme Hélimax Énergie Inc. (Hélimax) (réf [1]). La mise à jour présentée ici repose sur les séries historiques de production reconstituées en 2016 par la firme AWS Truepower (AWS) (réf [2]) et qui intègrent, pour les parcs en opération, les observations collectées depuis leur mise en service.

Le présent rapport résume d'abord les données reconstituées de production découlant du mandat réalisé par AWS et présente ensuite la démarche utilisée pour réviser la contribution en puissance des éoliennes et, finalement, les résultats obtenus. Ces résultats sont utilisés pour établir la valeur à intégrer comme contribution en puissance à la pointe des éoliennes dans les exercices d'évaluation de la fiabilité en puissance de la zone d'équilibrage Québec.

## 2. DONNÉES DE PRODUCTION ÉOLIENNE

### 2.1. Reconstitution de séries de données historiques

La réalisation de diverses études d'impact de la production éolienne requiert des séries chronologiques de production. Les séries reconstituées en 2009 par Hélimax ont été réalisées à l'aide d'un modèle diagnostique CALMET<sup>1</sup>. Toutefois, aucune donnée réelle représentant la production des parcs éoliens sous contrat n'avait été utilisée pour cette modélisation.

Depuis 2006, plusieurs parcs éoliens sous contrat avec le Distributeur ont été mis en service. Certains parcs cumulent donc plusieurs années d'opération, permettant ainsi le développement de nouvelles séries intégrant les observations collectées depuis leur mise en service. La mise à jour des séries de production permet ainsi de tirer profit d'un historique climatique élargi, de nouvelles techniques de reconstitution de séries chronologiques de production éolienne ainsi que de la disponibilité des données météorologiques et d'opération des parcs mis en service.

Dans ce contexte, le Distributeur a mandaté AWS pour réaliser la reconstitution des séries historiques de production horaire pour les 39 parcs éoliens sous contrat avec lui, tels que connus en date de l'étude en 2015, et représentant une puissance installée totale de 3 710 MW.

À l'aide d'un modèle atmosphérique *Weather research and Forecasting* (WRF) – WindMap, la production éolienne a été simulée à l'emplacement des parcs éoliens en utilisant des

---

<sup>1</sup> CALMET est le module météorologique du modèle CALPUFF ([www.src.com/calpuff/calpuff1.htm](http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm)).

données météorologiques historiques couvrant la période de janvier 1979 à décembre 2015. Les séries de production reconstituées résultantes ont été validées et ajustées avec les données météorologiques et d'opération disponibles pour les parcs éoliens. Ainsi, les données réelles, provenant des 18 parcs en opération en 2015, ont été intégrées au modèle de reconstitution.

Le tableau 1 compare les principales caractéristiques du modèle développé par AWS à celles du modèle d'Hélimax, dont les résultats avaient été utilisés dans l'étude de l'évaluation de la contribution en puissance des éoliennes déposée en 2009. Ces informations permettent d'illustrer les améliorations amenées par les plus récentes simulations.

**TABLEAU 1:  
CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES ET DES INTRANTS – SÉRIES HÉLIMAX ET AWS**

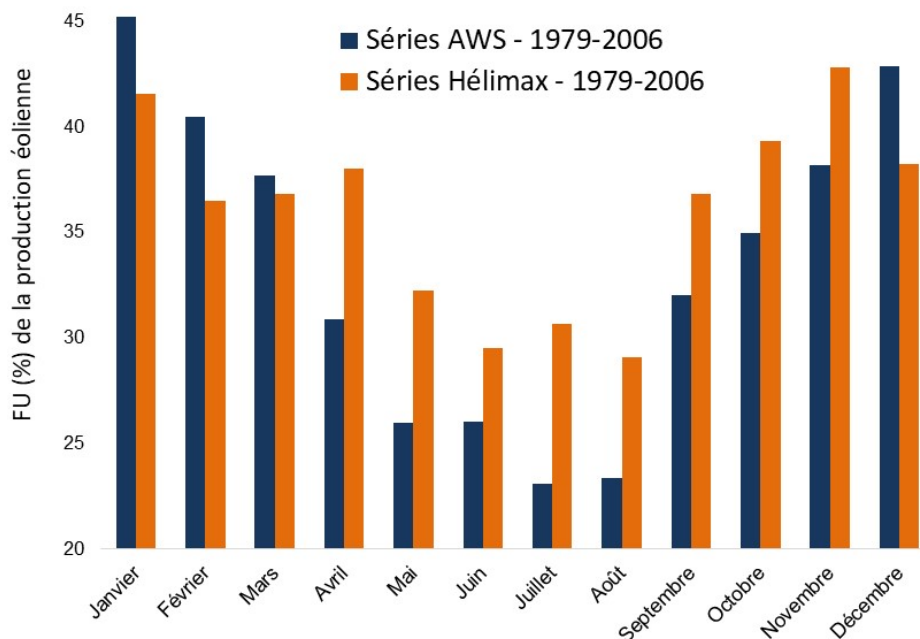
	Simulations Hélimax (2009)	Simulations AWS (2016)
<b>Modèle utilisé</b>	Modèle diagnostique CALMET (modèle 2D)	Modèle pronostique de méso-échelle WRF (modèle 3D) et le modèle micro-échelle WindMap
<b>Parcs éoliens considérés dans la modélisation</b>	Parcs éoliens A/O 2003 et 2005	Parcs éoliens A/O 2003, 2005, 2009, 2013 et parc Mesgi'g Ugiu's'n
<b>Période modélisée</b>	1971 à 2006	1979 à 2015
<b>Données réelles d'opération d'un parc utilisées</b>	Non	Oui
<b>Données d'entrées des simulations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les données météorologiques horaires simulées par le modèle CALMET</li> <li>• Les courbes de puissance</li> <li>• Les configurations pré-construction des parcs éoliens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les données météorologiques horaires simulées par le modèle WRF/WindMap</li> <li>• Les courbes de puissance</li> <li>• Les configurations pré-construction des parcs éoliens pour les parcs non opérationnels</li> <li>• Les configurations des parcs éoliens tels que construits pour les parcs en opération</li> </ul>
<b>Pertes de production</b>	Les pertes ont été modélisées selon les connaissances de l'industrie et l'expérience d'Hélimax en 2009	Les pertes ont été modélisées en utilisant les <b>données SCADA des éoliennes en opération</b> et selon les connaissances de l'industrie et l'expérience d'AWS
<b>Données météorologiques simulées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Une</b> position (point) par parc.</li> <li>• Variables météorologiques simulées à <b>hauteur de moyeu</b> de l'éolienne</li> <li>• Résolution horizontale de 5 km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plusieurs positions</b> (points) par parc</li> <li>• Variables météorologiques simulées à <b>plusieurs niveaux</b> (dont la hauteur de moyeu de l'éolienne)</li> <li>• Résolution horizontale de 2,5 km</li> </ul>

Les informations concernant la localisation des parcs éoliens sous contrat avec le Distributeur sont présentées dans le tableau A1 en annexe.

## 2.2. Profils mensuels de production: comparaison des séries AWS et HéliMAX

Les profils mensuels de production, exprimés par le facteur d'utilisation (FU), pour les séries reconstituées par AWS et HéliMAX présentent des caractéristiques similaires, avec une production éolienne plus élevée durant les mois d'hiver et plus faible durant les mois d'été. La figure 1 compare les profils mensuels découlant des deux séries reconstituées, pour la période allant de janvier 1979 à décembre 2006<sup>2</sup> et pour les mêmes parcs éoliens. Pour la période d'hiver (de décembre à mars), le FU moyen est de 41,5 % pour les séries AWS et de 38,2 % pour les séries HéliMAX.

**FIGURE 1 :  
COMPARAISON DU FACTEUR D'UTILISATION  
POUR LA PÉRIODE 1979-2006 ENTRE LES SÉRIES AWS ET HÉLIMAX**



Comme mentionné précédemment, les séries reconstituées par AWS sont basées sur une méthodologie plus robuste, qui prend en compte une modélisation météorologique plus détaillée, ainsi que sur des données météorologiques et d'opération des parcs éoliens. Il s'agit donc d'une représentation de la production des parcs sous contrat avec le Distributeur qui intègre mieux la réalité opérationnelle et reflète l'intégration de nouvelles technologies éoliennes qui permettent d'en améliorer les performances, notamment par temps froid.

Il est à noter que, en utilisant les séries complètes d'AWS sur la période de 1979 à 2015, le facteur d'utilisation moyen calculé pour la période d'hiver est de 42,7 %.

<sup>2</sup> Il s'agit de la période commune couverte par les séries AWS et HéliMAX.

### **3. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR ESTIMER LA CONTRIBUTION EN PUISSANCE À LA POINTE**

Comme pour l'étude de 2009, le Distributeur a utilisé une variante de la méthode *Effective Load Carrying Capability* (ELCC) pour évaluer la contribution en puissance des éoliennes (réf [1], page 4). Cette méthode consiste à établir une équivalence entre, d'une part, l'apport d'un achat ferme et, d'autre part, celui d'un équipement éolien. Elle s'apparente à celles utilisées dans différentes études et par plusieurs juridictions nord-américaines et européennes.

Le Distributeur a utilisé le modèle de simulation *Multi Area Reliability Simulation* (MARS) pour appliquer la méthode ELCC. Il s'agit d'un modèle développé par General Electric, et utilisé par le Distributeur et les juridictions voisines, notamment les zones d'équilibrage du *Northeast Power Coordinating Council* (NPCC), afin d'évaluer la fiabilité de leurs approvisionnements.

#### **3.1. Démarche de modélisation**

La démarche suivie pour l'évaluation de la contribution des éoliennes comporte les deux étapes suivantes :

Étape 1 : Une première simulation inclut la charge, les ressources prévues dans le bilan en puissance et les 3 710 MW de production éolienne. La quantité d'achats fermes de puissance est toutefois ajustée pour obtenir le niveau de fiabilité cible (espérance de délestage d'un jour par dix ans ou LOLE = 0,1).

Étape 2 : Dans une seconde simulation, la production éolienne est retirée et une quantité d'achats fermes de puissance additionnelle est ajoutée de manière à ce que la fiabilité soit ramenée au niveau cible.

La contribution en puissance à la pointe des éoliennes correspond à la quantité d'achats fermes de puissance additionnelle ajoutée à l'étape 2, par rapport à celle requise à l'étape 1. Cet ajout de puissance est divisé par la puissance éolienne installée (3 710 MW) pour obtenir un résultat exprimé en pourcentage.

### **4. UTILISATION DU MODÈLE MARS ET RÉSULTATS**

La réalisation des simulations avec le modèle MARS a nécessité l'utilisation de l'information suivante :

- les données de production éolienne simulées reconstituées pour la période 1979-2015 ;
- les données de charge et les aléas qui s'y rapportent ;
- les ressources du Distributeur ;
- les achats d'électricité prévus pour respecter le critère de fiabilité ;



- les moyens de gestion de la demande en puissance ;
- les contraintes de transport.

#### **4.1. Intrants utilisés dans le modèle MARS**

Les intrants utilisés pour l'évaluation de la contribution éolienne avec le modèle MARS sont basés sur les données présentées dans l'État d'avancement 2018 du Plan d'approvisionnement 2017-2026 pour le prochain hiver, soit l'hiver 2019-2020 (réf [5], page 13). Un profil de charge déterministe, représentatif des conditions climatiques normales, est utilisé. Le modèle MARS tient compte de l'aléa global sur la demande (aléa combiné prévisionnel + climatique) par le biais d'un générateur de scénarios de type Monte Carlo. Les données concernant les équipements de production, les programmes de gestion de la demande et les contraintes de transport sont conformes à celles utilisées pour les exercices de fiabilité.

##### **4.1.1. Utilisation des données éoliennes dans MARS**

Le modèle MARS permet de modéliser les ressources renouvelables et variables en utilisant la distribution de probabilité de production de ces ressources. Cette distribution permet de bien représenter la série de production.

La distribution cumulative de la production éolienne a été établie à partir des données de production des mois d'hiver (décembre à mars) des séries reconstituées par AWS pour la période 1979-2015.

Il s'agit de la même approche utilisée par le Distributeur pour modéliser les petites centrales hydrauliques (PCH) dans son modèle de fiabilité<sup>3</sup>.

#### **4.2. Résultats du modèle MARS**

Les résultats détaillés de la modélisation réalisée avec le modèle MARS pour les séries AWS sont présentés dans le tableau 2.

Conformément à l'approche générale décrite à la section 3.1, un premier scénario incluant la production éolienne est calibré de manière à ce que l'espérance de délestage s'établisse au niveau requis pour satisfaire le critère de fiabilité (LOLE = 0,1 jour par année). Un tel scénario requiert des achats additionnels de 370 MW. Lorsque la production éolienne est retirée, les achats additionnels requis s'élèvent à 1 712 MW, soit 1 342 MW de plus que dans le scénario avec la production éolienne. Il y a donc une équivalence entre la contribution en puissance des achats garantis additionnels de 1 342 MW et les 3 710 MW de production éolienne. On retient donc un ratio de contribution en puissance à la pointe de 36 %.

---

<sup>3</sup> Voir le Plan d'approvisionnement 2017-2026 ; réf [3], page 25.

**TABLEAU 2 :  
RÉSULTATS DÉTAILLÉS DU MODÈLE MARS – SÉRIES AWS**

Résultats détaillés MARS	Simulation avec production éolienne	Remplacement de la production éolienne par achats fermes garantis	Différence
Besoins en pointe 2019-2020	38 660	38 660	
Ressources engagées	40 780	<b>Idem</b>	
Électricité patrimoniale	37 442		
Appel d'offres de long terme (A/O 2015-01)	500		
Contrats avec HQP - Base et Cyclable	600		
Puissance rappelée	200		
Cogénération à la biomasse	295		
Petites centrales hydrauliques	103		
Abaissement de tension	250		
Électricité interruptible	1 000		
Programme GDP Affaires	390		
Autres achat fermes	370	1 712	1 342
Puissance éolienne installée	3 710	0	3 710
<i>Espérance de délestage (jour/an)</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	↓
			<b>1 342 ÷ 3 710 = 36%</b>

## 5. CONCLUSION

La mise à jour de la contribution en puissance à la pointe de la production éolienne est basée sur la même approche que celle utilisée en 2009, soit l'utilisation de la méthode ELCC.

Les résultats obtenus permettent d'établir la contribution en puissance à la pointe des éoliennes à 36 % de la puissance installée. La contribution estimée est supérieure à la valeur estimée en 2009 avec les séries Hélimax. Ce résultat est en lien avec le facteur d'utilisation attendu en hiver, qui est plus élevé pour les séries AWS que pour les séries Hélimax. Ce rehaussement du facteur d'utilisation pour les séries AWS découle d'une méthodologie plus robuste, qui tient compte de paramètres météorologiques raffinés, des caractéristiques sur les parcs éoliens installés et de données de production réelle.

Sur la base des résultats obtenus avec le modèle MARS, le Distributeur retient une contribution en puissance à la pointe des éoliennes de 36 % de la puissance installée. Cette valeur sera notamment utilisée pour les évaluations de la fiabilité déposées auprès du NPCC pour la zone de réglage Québec.

## RÉFÉRENCES

- [1] Hydro-Québec Distribution, *Évaluation de la contribution en puissance de la production éolienne sous contrat avec Hydro-Québec Distribution*, octobre 2009, 18 pages :  
[http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/EtatApproHQD/Rapport\\_Contribution%20en%20puissance%20.pdf](http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/EtatApproHQD/Rapport_Contribution%20en%20puissance%20.pdf)
- [2] AWS Truepower, *Historical Meteorological and Wind Power Time Series 1979-2015*, December 2016, 53 pages
- [3] Hydro-Québec Distribution. *Plan d'approvisionnement 2017-2026* (dossier R-3896-2016), pièce HQD-1, document 1 (B-0006), 1<sup>er</sup> novembre 2016 :  
[http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/389/DocPrj/R-3986-2016-B-0006-Demande-Piece-2016\\_11\\_01.pdf](http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/389/DocPrj/R-3986-2016-B-0006-Demande-Piece-2016_11_01.pdf)
- [4] Hydro-Québec Distribution, *2017 Québec Area Comprehensive Review of Resource Adequacy - Approved by the RCC*, December 5, 2017, 32 pages:  
<https://www.npcc.org/Library/Resource%20Adequacy/2017%20Quebec%20Comprehensive%20Review.pdf>
- [5] Hydro-Québec Distribution, *État d'avancement 2018 du Plan d'approvisionnement 2017-2026*, 1<sup>er</sup> novembre 2018, 57 pages:  
[http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/Suivis/SuiviD-2017-140\\_PlanAppro2017-2026/HQD\\_SuiviPlanAppro2017-2026\\_1nov2018.pdf](http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/Suivis/SuiviD-2017-140_PlanAppro2017-2026/HQD_SuiviPlanAppro2017-2026_1nov2018.pdf)
- [6] C.J Dent, S. Zachary, *Capacity Value of Additional Generation: Probability Theory and Sampling Uncertainty, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 2013
- [7] E. Ibanez and M. Miligan, *Impact of Transmission on Resource Adequacy in Systems with Wind and Solar Power*, Published in the 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting
- [8] S. Maheswari, C. Vijayalakshmi, *Maximum Wind Power Penetration Using LR Technique, Applied Mathematical Sciences*, vol. 7, 2013, no. 23, 1135-1141
- [9] S. Lu, R.Diao, N. Samaan, P. Etingov, *Capacity Value of PV and Wind Generation in the NV Energy System*, Prepared for the U.S Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory, September 2012
- [10] M. Milligan, K. Porter, *Determining the Capacity Value of Wind: An Updated Survey of Methods and Implementation*, National Renewable energy Laboratory, June 2008.



**ANNEXE :**

**LOCALISATION DES PARCS ÉOLIENS SOUS CONTRAT  
AVEC LE DISTRIBUTEUR**



**TABLEAU A1 :  
LOCALISATION DES PARCS ÉOLIENS SOUS CONTRAT AVEC LE DISTRIBUTEUR<sup>4</sup>**

Nom du projet	Région administrative	Région de transport où le projet est raccordé
<b>1er Appel d'offres</b>		
Parc éolien de Baie-des-Sables	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien de L'Anse-à-Valleau	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Carleton	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Saint-Ulric-Saint-Léandre	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien Mont-Louis	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Montagne Sèche	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Gros-Morne	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
<b>2e Appel d'offres</b>		
Parc éolien Le Plateau	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Saint-Robert-Bellarmin	Estrie	Nicolet Des Cantons
Parc éolien Montérégie	Montérégie	Montréal
Parc éolien du Massif du Sud	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
Parc éolien du Lac-Alfred	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien de New Richmond	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de L'Érable	Centre-du-Québec	Québec Centre
Parc éolien de la Seigneurie de Beaupré 2	Capitale-Nationale	Québec Centre
Parc éolien Des Moulins	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
Parc éolien de la Seigneurie de Beaupré 3	Capitale-Nationale	Québec Centre
Parc éolien Des Moulins	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
Parc éolien de la Seigneurie de Beaupré 4	Capitale-Nationale	Québec Centre
Parc éolien Vents du Kempt	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien de la Rivière-du-Moulin	Saguenay-Lac-Saint-Jean	Baie-James
Parc éolien Mont-Rothery	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Témiscouata 2	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
<b>3e Appel d'offres</b>		
Parc éolien Viger-Denonville	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien Le Granit	Estrie	Nicolet Des Cantons
Parc éolien de La Mitis	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien Le Plateau 2	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien de Saint-Damase	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien de Saint-Philémon	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
Parc éolien de Témiscouata	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien Côte-de-Beaupré	Capitale-Nationale	Québec Centre
Parc éolien Frampton	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
Parc éolien Pierre-De Saurel	Montérégie	Montréal
Parc éolien Des Cultures	Montérégie	Montréal
Parc éolien Belle-Rivière	Saguenay-Lac-Saint-Jean	Baie-James
<b>4e Appel d'offres</b>		
Parc éolien Roncevaux	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre
Parc éolien Nicolas-Riou	Bas-Saint-Laurent	Québec Centre
Parc éolien Mont Sainte-Marguerite	Chaudière-Appalaches	Québec Centre
<b>Contrat gré à gré</b>		
Parc éolien Mesgi'g Ugju's'n	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Québec Centre

<sup>4</sup> La définition des régions de transport utilisée est identique à celle qui figure dans les attestations de fiabilité produites à la Régie de l'énergie et au NPCC. Voir à cet effet, la revue triennale produite pour la zone d'équilibrage du Québec (réf. [4] page 31).