



## **L'énergie éolienne et les grands enjeux énergétiques au Québec**

---

Soumis au :

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

dans le cadre de la consultation publique sur la sécurité et  
l'avenir énergétiques du Québec.

Préparé par l'ACÉEÉ avec la collaboration de GPCo.

---

Association Canadienne de l'Énergie Éolienne  
Suite 750, 130 Slater Street  
Ottawa, Ontario  
Canada K1P 6E2  
Télec. : 613-594-8705  
Courriel : [info@canwea.ca](mailto:info@canwea.ca)

---

Ottawa, Janvier 2005

## Sommaire exécutif

L'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉE) est une association commerciale sans but lucratif qui favorise le développement et l'application appropriés de tous les aspects de l'énergie éolienne au Canada, y compris la création d'une politique environnementale appropriée.

Dans le contexte du questionnement et des enjeux actuels relatifs au secteur énergétique du Québec, l'ACÉE estime que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle peut contribuer à :

1. diversifier les sources d'énergie au Québec;
2. accroître la fiabilité des sources d'approvisionnement;
3. assurer l'équilibre entre l'offre et la demande;
4. favoriser l'atteinte d'un juste prix de l'énergie;
5. concilier développements énergétiques et développement durable.

En matière de sécurité énergétique, l'ACÉE évalue que l'éolien peut diversifier significativement les modes de production d'électricité au Québec, tout en respectant l'intégrité du réseau de transport. Cette sécurisation d'approvisionnements énergétiques produits localement pourrait, si nécessaire, être combinée avec une stratégie ciblée de gestion des impacts du chauffage sur les installations de production électrique de pointe. Enfin, pour supporter un développement structurant de l'énergie éolienne au Québec, l'ACÉE est d'avis que le cadre réglementaire en vigueur devrait être amendé, mais aussi que le Québec continue à supporter le développement de l'énergie éolienne en spécifiant la quantité d'énergie éolienne qu'Hydro-Québec doit acheter tant et aussi longtemps que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur technique, économique, environnementale et sociale.

L'énergie éolienne constitue une opportunité de développement économique, régional et industriel cruciale pour le Québec. En effet, le développement de l'énergie éolienne permet de réaliser des investissements importants en région, d'y créer de nombreux emplois et de garder l'énergie propre comme élément de politique industrielle à l'échelle de la province. D'autres attributs tout aussi importants découlent d'une stratégie énergétique axée sur l'éolien, soit le fait que le développement de l'éolien favorise la participation des régions et des autochtones, ouvre des opportunités en matière d'exportation d'électricité et d'éoliennes, et favorise l'émergence de nouvelles technologies, de l'innovation et des savoir-faire.

L'ACÉE juge que l'énergie éolienne peut jouer un rôle central au Québec pour la réalisation d'un développement énergétique durable. Non seulement la mise en valeur du potentiel éolien québécois peut limiter la pollution atmosphérique et les émissions de gaz à effet de serre, mais elle peut aussi éviter les impacts environnementaux des autres sources d'énergie. Tout en renforçant la pénétration des énergies renouvelables dans le bilan énergétique québécois, la mise en valeur du potentiel éolien québécois supportera aussi l'émergence du Québec comme chef de file en développement durable dans le nord-est de l'Amérique. Finalement, le très large consensus populaire favorable à l'éolien est à même de constituer la pierre d'assise d'un large consensus politique au Québec autour de la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle.

Pour concrétiser tout le potentiel de développement économique et social ainsi que les bénéfices environnementaux associés au développement éolien, l'ACÉE émet les recommandations suivantes :

1. L'ACÉE recommande que le Québec privilégie l'éolien comme source d'énergie pour desservir ses futurs besoins en énergie, et qu'à cette fin, le gouvernement du Québec s'engage dans la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle;
2. L'ACÉE recommande que le Québec se fixe un objectif minimal de produire 7,5 % (13,5 TWh; 4 500 MW) de son électricité par énergie éolienne en 2012 et 10 % (18 TWh; 6 000 MW) en 2015;
3. L'ACÉE recommande que le Québec continue à supporter le développement de l'énergie éolienne en spécifiant la quantité d'énergie éolienne qu'Hydro-Québec doit acheter, tant et aussi longtemps que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur technique, économique, environnementale et sociale;
4. L'ACÉE recommande que le Québec lance les appels d'offres suivants : 1 000 MW en 2005, 2006 et 2007, puis 600 MW en 2008, 500 MW en 2009 et à chaque année suivante. À partir de 2011, ces appels d'offres de 500 MW, à être installés à compter de 2016, permettront de maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande ou d'accroître la marge de manœuvre du Québec;
5. L'ACÉE recommande que le Québec ouvre l'ensemble du territoire québécois aux projets éoliens pour limiter au strict minimum, les coûts d'intégration et de raccordement.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |            |
|---|------------|
| <b>SOMMAIRE EXÉCUTIF .....</b>  | <b>I</b>   |
| <b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>   | <b>III</b> |
| <b>LISTE DES FIGURES .....</b>  | <b>IV</b>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>  | <b>V</b>   |
| <b>1 PRÉSENTATION .....</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 L'ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE .....  | 1          |
| 1.2 VOCATION DE L'ACÉÉ.....   | 1          |
| <b>2 INTRODUCTION.....</b>  | <b>2</b>   |
| <b>3 LES GRANDS ENJEUX ÉNERGÉTIQUES ET L'ÉNERGIE ÉOLIENNE .....</b>                               | <b>3</b>   |
| 3.1 DIVERSIFIER LES SOURCES D'ÉNERGIE AU QUÉBEC .....   | 3          |
| 3.2 ACCROÎTRE LA FIABILITÉ DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT .....                                  | 4          |
| 3.3 ASSURER L'ÉQUILIBRE ENTRE OFFRE ET DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ.....                                 | 4          |
| 3.4 VISER LE JUSTE PRIX DE L'ÉNERGIE .....  | 4          |
| 3.5 CONCILIER ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE .....  | 5          |
| <b>4 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE .....</b>   | <b>6</b>   |
| 4.1 DIVERSIFIER LES MOYENS POUR SATISFAIRE LES BESOINS EN ÉLECTRICITÉ.....                        | 7          |
| 4.2 PRÉSERVER LA FIABILITÉ DU RÉSEAU DE TRANSPORT .....   | 9          |
| 4.3 GÉRER LES IMPACTS DU CHAUFFAGE DE L'ESPACE.....   | 10         |
| 4.4 CONCILIER CADRE RÉGLEMENTAIRE, CONCURRENCE EN APPROVISIONNEMENTS ET<br>ÉNERGIE ÉOLIENNE ..... | 11         |
| <b>5 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET RÉGIONAL.....</b>                            | <b>12</b>  |
| 5.1 MAXIMISER LES INVESTISSEMENTS .....   | 13         |
| 5.2 CRÉER DE L'EMPLOI .....   | 13         |
| 5.3 LIMITER L'AUGMENTATION DES PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ.....   | 14         |
| 5.4 GARDER L'ÉNERGIE PROPRE COMME ÉLÉMENT DE POLITIQUE INDUSTRIELLE.....                          | 18         |
| 5.5 FAVORISER LE RÔLE DES RÉGIONS ET DES AUTOCHTONES.....   | 18         |
| 5.6 PROFITER DES POSSIBILITÉS D'EXPORTATIONS.....   | 19         |
| 5.7 FAVORISER NOUVELLES TECHNOLOGIES, INNOVATION ET SAVOIR-FAIRE .....                            | 21         |
| <b>6 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE.....</b>   | <b>25</b>  |
| 6.1 LIMITER LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.....   | 25         |
| 6.2 LIMITER LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE .....   | 27         |
| 6.3 ÉVITER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES AUTRES SOURCES .....                                  | 28         |
| 6.4 SUPPORTER UN QUÉBEC CHEF DE FILE DANS LE NORD-EST DE L'AMÉRIQUE .....                         | 29         |
| 6.5 RENFORCER LA PÉNÉTRATION DES SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES.....                            | 30         |
| <b>7 CONCLUSION.....</b>  | <b>30</b>  |
| <b>8 RECOMMANDATIONS.....</b>   | <b>31</b>  |
| <b>9 RÉFÉRENCES.....</b>  | <b>32</b>  |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| FIGURE 5.1: ÉVOLUTION DE LA TAILLE DES ÉOLIENNES POUSSÉE PAR LES PROGRÈS TECHNOLOGIQUES ..... | 22 |
| FIGURE 5.2: DÉPENSES TOTALES DE R-D EN ÉOLIEN.....  | 23 |
| FIGURE 6.1: ÉMISSIONS DE SO <sub>2</sub> POUR DIVERSES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES .....            | 26 |
| FIGURE 6.2: ÉMISSIONS DE NO <sub>x</sub> POUR DIVERSES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES .....            | 26 |
| FIGURE 6.3: ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE POUR DIVERSES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES .....       | 27 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| TABLEAU 5.1: EMPLOIS DIRECTS DANS LA PRODUCTION D'ÉNERGIE.....                 | 14 |
| TABLEAU 5.2: ÉVALUATION DES COÛTS DU SERVICE D'ÉQUILIBRAGE AUX ÉTATS-UNIS..... | 16 |

## 1 PRÉSENTATION

### 1.1 L'ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ) est une association commerciale sans but lucratif qui favorise le développement et l'application appropriés de tous les aspects de l'énergie éolienne au Canada, y compris la création d'une politique environnementale appropriée.

Établie en 1984, l'ACÉÉ représente la communauté de l'énergie éolienne – les entreprises privées, les institutions, les organismes et les particuliers qui sont directement impliqués dans le développement et l'application de la technologie, des produits et des services liés à l'énergie éolienne.

Nos membres sont les leaders dans le domaine de l'énergie éolienne au Canada. Ce sont des propriétaires, des opérateurs, des fabricants, des créateurs de projets, des conseillers et des fournisseurs de services dans le domaine de l'énergie éolienne et autre organismes et particuliers intéressés à cette industrie.

Le but de l'ACÉÉ est d'atteindre une capacité installée de production d'énergie éolienne de 10 000 MW, au Canada, d'ici 2010.

En domestiquant une ressource naturelle le vent - l'ACÉÉ considère que l'énergie éolienne constitue une occasion unique de développement économique, particulièrement en région, et qu'elle peut satisfaire les besoins énergétiques croissants du Canada, réduire notre dépendance à l'égard des combustibles fossiles et apporter des bénéfices environnementaux significatifs.

### 1.2 VOCATION DE L'ACÉÉ

Au nom de ses membres, l'ACÉÉ :

1. Pousse à l'élaboration de politiques :
  - 1.1. L'ACÉÉ développe activement des prises de position sur une politique pour l'industrie de l'énergie et présente des mémoires aux ministères fédéral et provinciaux.
2. Fournis de l'information :
  - 2.1. L'ACÉÉ agit en tant que source d'information et d'éducation sur l'énergie éolienne au Canada. Nous aidons à rassembler, organiser et diffuser l'information appropriée et nous favorisons la discussion par des publications, des réunions et d'autres forums au profit de la communauté de l'énergie éolienne et du grand public.
3. Offre un leadership :
  - 3.1. L'ACÉÉ s'efforce de démontrer que la communauté canadienne de l'énergie éolienne est au premier rang dans plusieurs secteurs de la technologie, et que le vent est une composante essentielle d'une combinaison de sources offrant un approvisionnement durable en énergie.

4. Sert de porte-parole :

4.1. L'ACÉÉ représente les intérêts et les capacités de la communauté canadienne de l'énergie éolienne, auprès de tous les niveaux de gouvernement, des services publics, des organismes de réglementation et du grand public. Nous favorisons l'adoption de politiques législative et réglementaire équitables et d'un environnement économique qui permet l'utilisation de l'énergie éolienne.

5. Appuie l'industrie :

5.1. L'ACÉÉ aide l'industrie canadienne de l'énergie éolienne à devenir une composante prospère de l'économie canadienne, notamment en favorisant un marché horizontal de l'énergie et en facilitant la recherche, le développement et la réalisation de projets.

6. Forme des alliances stratégiques :

6.1. L'ACÉÉ cherche et crée des alliances avec d'autres organismes afin de poursuivre plus efficacement des buts communs.

## 2 INTRODUCTION

Dans le contexte récent de la Demande d'avis du ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs relativement à la sécurité énergétique des Québécois à l'égard des approvisionnements électriques et la contribution du projet du Suroît, l'ACÉÉ a déposé un mémoire qui présentait déjà certains enjeux clés au cœur du développement de l'industrie éolienne au Québec et de la sécurité énergétique des Québécois. Les principaux sujets traités portaient notamment sur :

1. le positionnement du Québec en matière d'éolien vis-à-vis des autres provinces canadiennes et des pays chefs de file internationaux en éolien;
2. l'importance de la ressource éolienne du Québec;
3. les coûts de production de l'énergie éolienne au Québec;
4. les retombées économiques associées au développement de l'industrie éolienne; et
5. les synergies existantes entre la production d'électricité par énergies éolienne et hydraulique.

Bien que les faits et données présentés par l'ACÉÉ lors des audiences de la Régie de l'Énergie du Québec soient toujours fort à propos et pertinents, l'ACÉÉ souhaite maintenant prendre part au débat portant sur les enjeux et questionnement relatifs au secteur énergétique québécois. Plus spécifiquement, l'ACÉÉ entend prendre position sur les principaux thèmes présentés dans le document «Le secteur énergétique au Québec : Contexte, enjeux et questionnements», avec une emphase toute particulière sur le secteur de l'électricité, et sa place dans le secteur énergétique.

De façon générale, l'ACÉÉ estime que l'énergie éolienne constitue une réponse environnementalement et socialement acceptables ainsi qu'économiquement rentables aux grands enjeux énergétiques au Québec. C'est la position que nous allons présenter et discuter dans les prochaines sections de ce mémoire.

### **3 LES GRANDS ENJEUX ÉNERGÉTIQUES ET L'ÉNERGIE ÉOLIENNE**

Selon le Ministère des Ressources naturelles, Faune et Parcs (MRNFPQ), les grands enjeux énergétiques au Québec s'articulent aujourd'hui autour des thématiques suivantes :

1. diversifier les sources d'énergie;
2. accroître la fiabilité des approvisionnements;
3. assurer l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité;
4. viser le juste prix de l'énergie;
5. concilier énergie et développement durable.

L'ACÉE estime que l'énergie éolienne peut contribuer, efficacement et à court terme, à relever les défis associés à ces enjeux. En effet, pour chaque enjeu, l'énergie éolienne permet d'offrir une réponse énergétiquement, socialement, environnementalement et économiquement acceptable aux questions posées. De plus, le développement de l'énergie éolienne ne soulève pas de contradictions fondamentales avec les réponses apportées aux autres enjeux.

#### **3.1 DIVERSIFIER LES SOURCES D'ÉNERGIE AU QUÉBEC**

Grâce au potentiel éolien exceptionnel du Québec (EC, 2004; Hélimax, 2004), l'énergie éolienne peut contribuer significativement à diversifier les sources d'énergie utilisées pour satisfaire la demande. Cette solution, déjà adoptée à grande échelle dans plusieurs pays, permet d'y répondre tout en respectant l'environnement, mais aussi en diminuant le risque de devoir recourir à des solutions de rechange imposées par les circonstances. L'exploitation de l'énergie éolienne au Québec peut fournir le même avantage comparatif au Québec, qu'historiquement l'hydroélectricité a pu le faire. Soit une source d'énergie à coût décroissant qui peut faciliter l'investissement au Québec, favoriser l'utilisation d'électrotechnologies propres et assurer la compétitivité d'entreprises de plus en plus soumises à des contraintes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'ACÉE recommande que le Québec privilégie l'éolien comme source d'énergie pour desservir ses futurs besoins en énergie. La place de l'énergie éolienne dans le bilan énergétique du Québec pourra varier, en s'inspirant de l'expérience internationale, de quelques pour cent à 50 % de la production d'électricité (objectif du Danemark pour 2025). La compétitivité nouvelle de l'éolien au Québec (Section 5.3), de même que les effets d'échelle et d'apprentissage dans l'intégration de l'éolien au réseau d'Hydro-Québec devrait faciliter l'utilisation d'une proportion toujours plus grande d'énergie éolienne ainsi qu'une intégration plus poussée de l'industrie éolienne au tissu industriel québécois.

### **3.2 ACCROÎTRE LA FIABILITÉ DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT**

L'énergie éolienne constitue une source d'énergie fiable et stable pour le Québec. En effet, il est généralement reconnu (Lafrance, 2004) que (1) la distribution d'apport énergétique de l'éolien est mieux répartie dans le temps que celle des apports hydrauliques, (2) la variabilité saisonnière du vent semble globalement inférieure à celle de l'apport hydraulique, (3) les apports éoliens agissent au même titre qu'une centrale au fil de l'eau ou un détournement de rivière, en augmentant la capacité énergétique globale et (4) les réservoirs sont le mode de stockage idéal pour les apports éoliens. Avec de tels attributs, l'énergie éolienne peut (1) diminuer le risque associé à l'hydraulicité, (2) éviter une rupture des approvisionnements, et (3) minimiser le déséquilibre entre les besoins en énergie et les moyens de les combler. De plus, étant donné la compétitivité nouvelle ainsi que la décroissance des coûts de l'éolien (Section 5.3), son utilisation peut (1) limiter l'escalade des prix de l'électricité, et (2) éviter l'apparition de chocs tarifaires.

Finalement, la très grande acceptabilité sociale de l'éolien au Québec (Équiterre et Greenpeace, 2004; TechnoCentre, 2004) ne devrait pas nécessiter de processus d'approbation spécial pour fiabiliser les approvisionnements énergétiques du Québec.

### **3.3 ASSURER L'ÉQUILIBRE ENTRE OFFRE ET DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ**

L'ACÉEÉ évalue que l'éolien constitue une solution de court et long terme pour assurer l'équilibre entre offre et demande d'électricité. Par conséquent, l'ACÉEÉ recommande que le Québec réalise la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle. Un tel développement peut rétablir la marge de manoeuvre du Québec et ainsi rééquilibrer la situation actuelle pour bénéficier de la croissance nord-américaine de la demande d'électricité et en faire profiter, par les bénéfices d'Hydro-Québec, l'ensemble de la population québécoise (Sections 5.3 et 5.6).

La possibilité de mettre en service rapidement des centrales éoliennes constitue un atout pour suivre un rythme d'accroissement de la capacité québécoise de production d'électricité qui réponde aux divers objectifs du gouvernement du Québec ou d'Hydro-Québec. Un tel accroissement permettrait aussi d'éviter la substitution de l'électricité par d'autres formes d'énergie importées, ce qui pourrait avoir un effet négatif sur la balance des paiements du Québec.

### **3.4 VISER LE JUSTE PRIX DE L'ÉNERGIE**

Historiquement, le Québec a développé la source d'énergie la plus économique et la moins environnementalement dommageable pour la production d'électricité. Aujourd'hui, la source d'énergie la plus économique (Section 5.3), la moins environnementalement dommageable (section 6), mais aussi la plus socialement acceptable est l'énergie éolienne. Grâce à la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle, le Québec pourra continuer à bénéficier d'un prix préférentiel par rapport au marché nord-américain en général.

L'ACÉE reconnaît toutefois les effets potentiels du développement d'une source d'énergie dont les coûts sont en décroissance. Bien qu'historiquement recherchée au Québec, la disponibilité d'électricité à faible coût peut effectivement conduire :

1. à une surconsommation d'électricité;
2. à l'abandon des mesures d'efficacité énergétique;
3. à la dépendance de l'industrie à l'endroit de bas tarifs d'électricité.

Dans les pays européens, ces effets ont largement été atténués par l'imposition artificielle de fortes taxes sur l'électricité. L'ACÉE est d'avis que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle laisse au gouvernement du Québec toute la latitude politique pour réaliser les nécessaires arbitrages qui permettent :

1. de fixer le juste niveau de prix de l'électricité compte tenu de l'effet net, pour la collectivité québécoise, des bas tarifs d'électricité ainsi que de l'ensemble des objectifs de développement économique et social du Québec;
2. d'accroître la compétitivité de l'économie québécoise et la création d'emplois;
3. de faciliter l'implantation des mesures d'efficacité énergétique.

### **3.5 CONCILIER ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE**

Le caractère irréconciliable du développement et de l'utilisation des sources d'énergie conventionnelles (charbon, pétrole, gaz naturel et uranium) avec le développement durable est maintenant clairement démontré. Les problèmes sociaux (santé, sécurité des installations, guerres, terrorisme, etc.) et environnementaux (pollution atmosphérique, marine et terrestre, gaz à effet de serre, perte d'habitats, etc.) qui y sont associés ont maintenant une dimension planétaire, et des impacts qui s'évaluent à l'échelle de siècles. Une littérature scientifique et technique abondante, produite durant les 30 dernières années, documente toutes les dimensions de cette incompatibilité, et ne laisse entrevoir que des solutions de bout de tuyau<sup>1</sup>, encore une fois incompatible avec un développement énergétique durable.

D'un autre côté, en combinaison avec l'efficacité énergétique, les sources d'énergies renouvelables sont les seules sources d'énergie compatibles avec un développement énergétique durable, c'est-à-dire qui respecte les principes et critères d'une stratégie de développement durable (Webster, 2004). D'un point de vue plus spécifique, l'efficacité énergétique et les sources et technologies des énergies renouvelables respectent intégralement les éléments clés d'une stratégie de développement durable pour le secteur énergétique, soit (AIE, 2002) :

1. la soutenabilité économique qui requiert :
  - 1.1. une croissance forte et durable;
  - 1.2. une stabilité financière;
  - 1.3. une inflation faible;

---

<sup>1</sup> Séquestration du CO<sub>2</sub>, épuration des émissions de mercure, concept à sécurité passive de centrales nucléaires, etc.

2. la soutenabilité environnementale centrée :
  - 2.1. sur des ressources air – eau - sol qui soient saines;
  - 2.2. une résilience des systèmes biophysiques;
3. la soutenabilité sociale qui incorpore un ensemble de valeurs dont :
  - 3.1. l'équité;
  - 3.2. l'emploi;
  - 3.3. la stabilité des systèmes sociaux et culturels;
  - 3.4. la participation démocratique.

Bien informée, la population du Québec ne s'y trompe pas lorsqu'elle exprime clairement son choix pour l'éolien à 76 % et pour l'efficacité énergétique à 55 % (Équiterre et Greenpeace, 2004). Même les touristes interrogés dans les régions d'installations des centrales appuient fortement le développement de l'éolien. En effet, selon le sondage Guay Marketing (TechnoCentre, 2004) commandité par le TechnoCentre éolien de la Gaspésie : «La perception des touristes à l'égard des éoliennes est très positive: 42,3% d'entre eux en ont une impression excellente et 94,7% en ont une au moins bonne, donc, positive». Sur la base de ces constats, l'ACÉÉ recommande que le gouvernement du Québec entérine ce choix qui réconcilie énergie et développement durable, car il respecte aussi les valeurs fondamentales et principes prioritaires tels que :

1. de s'assurer de la disponibilité, de la qualité et de la continuité des approvisionnements énergétiques;
2. de valoriser les ressources énergétiques en prenant en considération l'environnement, les communautés locales concernées et les principes du développement durable;
3. de favoriser l'efficacité énergétique et le développement des autres énergies renouvelables au meilleur coût;
4. de s'assurer que les consommateurs puissent s'approvisionner du plus grand nombre possible de formes d'énergie à des prix compétitifs;
5. de faire du secteur énergétique québécois un facteur d'enrichissement collectif et de prospérité pour toutes les régions.

#### **4 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE**

Selon notre compréhension, la sécurité énergétique du Québec en matière d'électricité s'articule aujourd'hui autour des thématiques suivantes :

1. diversifier les moyens pour satisfaire les besoins en électricité;
2. préserver la fiabilité du réseau de transport;
3. gérer les impacts du chauffage de l'espace;
4. concilier cadre réglementaire, concurrence à l'égard des approvisionnements et développement de l'énergie éolienne.

Sur ces quatre aspects clés, l'ACÉE juge que l'énergie éolienne peut jouer un rôle déterminant au Québec. Pour chaque enjeu, l'immense potentiel éolien du Québec et sa distribution sur le territoire, les progrès et les développements techniques des éoliennes ainsi que la grande souplesse et la rapidité de réalisation des projets éoliens dans le contexte d'appels d'offres ou d'offres spontanées permettent à l'éolien d'offrir une solution à court, moyen et long terme pour assurer la sécurité énergétique du Québec.

#### **4.1 DIVERSIFIER LES MOYENS POUR SATISFAIRE LES BESOINS EN ÉLECTRICITÉ**

Aujourd'hui, les modes de production d'électricité au Québec sont peu diversifiés. Avec 96,7 % de l'électricité produite grâce à l'hydraulique, le Québec est dépendant d'une seule source d'énergie intermittente. Bien qu'historiquement les variabilités annuelles et interannuelles de la ressource hydrique aient été gérées adéquatement à l'aide de réservoirs, les années de faible hydraulité récurrentes de la dernière décennie limitent l'énergie et la puissance disponibles et imposent d'ajouter aux apports hydrauliques, les apports d'énergie éolienne. À cet égard, il est généralement reconnu (Lafrance, 2004) que (1) la distribution d'apport énergétique de l'éolien est mieux répartie dans le temps que celle des apports hydrauliques, (2) la variabilité saisonnière du vent semble globalement inférieure à celle de l'apport hydraulique, (3) les apports éoliens agissent au même titre qu'une centrale au fil de l'eau ou un détournement de rivière, en augmentant la capacité énergétique globale et (4) les réservoirs sont le mode de stockage idéal pour les apports éoliens. En plus de ces caractéristiques réelles de complémentarité, la qualité exceptionnelle<sup>2</sup> du gisement éolien du Québec (EC, 2004; Hélimax, 2004) ainsi que sa bonne distribution sur l'ensemble du territoire desservi par un réseau de transport étendu et interconnecté (Côte-Nord, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Nord-du-Québec, Saguenay-Lac-St-Jean, Montérégie) permettent d'envisager :

1. l'intégration de quantités importantes d'énergie éolienne pour économiser la ressource hydrique et faciliter la gestion du réseau, en énergie et puissance, à partir de réservoirs remplis adéquatement;
2. l'augmentation de la contribution de l'énergie renouvelable au bilan énergétique du Québec pour respecter les principes d'un développement énergétique durable;
3. un rééquilibrage dans la contribution des modes de production de l'électricité pour accroître la sécurité énergétique du Québec sur la base d'une source d'énergie abondante sur le territoire et indépendante des aléas de la conjoncture internationale.

En matière de contribution en énergie de l'éolien pour la production d'électricité, l'ACÉE tient à rappeler les faits suivants :

1. le Danemark produit 16 % de son électricité (5,6 TWh) en utilisant l'énergie éolienne;
2. l'Espagne produit 6 % de son électricité (12 TWh) en utilisant l'énergie éolienne;
3. l'Allemagne produit 4 % de son électricité (22,4 TWh) en utilisant l'énergie éolienne.

---

<sup>2</sup> La ressource éolienne au Québec dépasse la ressource hydraulique disponible.

En matière de contribution future de l'énergie éolienne à la production d'électricité, l'ACÉE tient à rappeler les faits suivants :

1. en 2008, le Danemark produira 29 % de son électricité en utilisant l'énergie éolienne grâce essentiellement à l'implantation de deux nouvelles centrales en mer de 200 MW chacune (Energy policy statement 2004). Bien que l'objectif officiel de la politique énergétique du Danemark établie en 1996, soit d'une contribution de l'éolien à hauteur de 50 % en 2030, l'industrie de l'électricité du Danemark supporte d'ores et déjà un objectif de 50 % en 2025 pour l'éolien, notamment sur la base de 3 000 MW additionnels en mer à réaliser avant 2015;
2. en 2010, l'objectif de l'Allemagne est de doubler la contribution des renouvelables à la production d'électricité soit 12,5 % à partir d'une contribution de 8 % aujourd'hui. L'éolien devrait alors produire 43 TWh et constituer l'essentiel des 4,5 % nécessaire pour atteindre l'objectif, notamment sur la base de l'implantation de centrales éoliennes en mer;
3. en 2011, l'Espagne vise à produire 15 % de son électricité en utilisant l'énergie éolienne.

L'ACÉE recommande que le Québec se fixe un objectif minimal de produire 7,5 % (13,5 TWh) de son électricité par énergie éolienne en 2012 et 10 % (18 TWh) en 2015. Ces objectifs de mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle<sup>3</sup> positionneraient le Québec en 2015 comme l'un des exploitants et centres manufacturiers importants en matière d'éolien. Il lancerait aussi un message clair aux acteurs de l'industrie éolienne qui faciliterait la planification de long terme ainsi qu'une meilleure intégration au tissu industriel québécois, avec comme conséquence un contenu régional et québécois beaucoup plus élevé que les taux requis dans le cadre de l'appel d'offres A/O 2003-02. L'ACÉE suggère que le Québec s'inspire des initiatives et recommandations proposées dans un rapport exhaustif qui fait le bilan de l'industrialisation actuelle et future de la filière éolienne au Canada (Synova, 2004).

L'ACÉE tient aussi à mentionner que les 13,5 TWh (2012) et 18 TWh (2015) que produirait annuellement l'énergie éolienne au Québec peuvent être gérés avec les capacités de production actuelles, notamment les réservoirs. Déjà, Hydro-Québec gère sur une base annuelle et pluriannuelle de bien plus grandes quantités d'énergie. Selon les propos mêmes d'Hydro-Québec Production (HQP, 2004) :

*«Les pratiques en place pour gérer le risque d'hydraulicité et assurer la sécurité énergétique – soit la planification prudente et flexible des ventes hors Québec, les ajouts de capacité de production et l'application rigoureuse des critères de sécurité énergétique – ont fait leurs preuves. Hydro-Québec, dans son activité de production, a pu absorber un déficit d'hydraulicité cumulatif de 109 TWh de 1991 à 2003, dont 40 TWh depuis le début de l'année 2000, tout en satisfaisant une forte croissance de la demande interne au Québec, et sans compromettre l'amélioration souhaitée de la rentabilité de l'entreprise depuis 1996. Il faut aussi souligner que la contribution nette des activités sur les marchés hors Québec aux bénéfiques nets de l'entreprise de 2000 à 2003 a été de 3,4 milliards de \$. La marge de manoeuvre au niveau des capacités de production – qui atteignait 18 TWh et 2 900 MW en terme de ressources non engagées en 1998 – n'est certes pas étrangère à cette réussite.»*

---

<sup>3</sup> Bien que l'envergure de ce développement ne fasse qu'effleurer le potentiel réel de l'éolien au Québec et ne permettent pas d'exploiter toutes les économies d'échelle les effets d'échelle et d'apprentissage associées à l'éolien.

L'ACÉEÉ suggère que les 18 TWh de production d'énergie éolienne en 2015 pourraient être utilisés pour : (1) pallier aux déficits d'hydraulicité cumulatifs depuis plus d'une décennie, (2) satisfaire la croissance de la demande au Québec et continuer de substituer l'électricité aux combustibles fossiles, (3) exporter sur les marchés hors Québec et (4) accroître la marge de manoeuvre au niveau des capacités de production d'Hydro-Québec. Ces 18 TWh de production d'énergie éolienne en 2015 représentent 11 % de la quantité d'énergie vendue par HQD au cours de l'année 2003 et de l'ordre de 75 % de l'énergie à produire par l'ensemble des projets en construction et planifiés à l'horizon 2015. Ils représentent environ 65 % des besoins additionnels requis par HQD en 2014 (Lafrance, 2004).

Après 2015, l'ACÉEÉ recommande que la croissance des besoins en énergie électrique au Québec (taux de croissance de 1 %; ~ 2 TWh) soit satisfaite par l'installation chaque année d'environ 500-600 MW, soit 60 à 200 éoliennes pour maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande.

#### 4.2 PRÉSERVER LA FIABILITÉ DU RÉSEAU DE TRANSPORT

Contrairement à certaines idées véhiculées, l'intégration de l'énergie éolienne à la production d'électricité ne constitue pas une menace sérieuse à la fiabilité du réseau de transport ou à la stabilité du réseau électrique tant au regard de la puissance que de la fréquence du courant électrique. En matière de contribution en puissance de l'éolien pour la production d'électricité, l'ACÉEÉ tient à rappeler les faits suivants :

1. l'éolien (3 115 MW) représente déjà 23 % de la puissance électrique installée au Danemark (13 638 MW). L'objectif du gouvernement Danois est d'environ 3 500 MW d'éolien en 2008, soit 26 % de la puissance électrique installée. Au Québec, cela représenterait l'équivalent de 11 170 MW de capacité installée;
2. l'éolien (6 202 MW) représente déjà 12 % de la puissance électrique installée en Espagne (50 400 MW). L'objectif du gouvernement espagnol est de 20 000 MW d'éolien en 2011, soit 25 % de la puissance électrique installée (80 000 MW en 2011). Au Québec, cela représenterait l'équivalent de 10 700 MW de capacité installée en 2011;
3. l'éolien (15 387 MW) représente déjà 13 % de la puissance électrique installée en Allemagne (115 000 MW). L'objectif du gouvernement allemand est de 25 000 MW d'éolien en 2010, soit 22 % de la puissance électrique installée. Au Québec, cela représenterait l'équivalent de 9 450 MW de capacité installée en 2010.

Ces niveaux de pénétration en puissance des réseaux électriques de trois pays, dont la fiabilité et la stabilité sont reconnues, démontrent qu'il est d'ores et déjà possible de dépasser un apport de la ressource éolienne supérieur à 10 %, que l'on parle en énergie (voir Section 4.1) ou en puissance. Malgré les différences qui peuvent exister entre les réseaux électriques de ces trois pays et le réseau électrique du Québec, le génie québécois a déjà prouvé par le passé qu'il pouvait relever des défis techniques autrement difficiles, et uniques, en matière de transport et de distribution d'électricité, que l'on pense aux premières mondiales en transport de l'électricité sur plusieurs milliers de km à 735 kV et 450 kV en courant continu. Des conférences sur l'intégration de l'éolien aux réseaux sont tenues à intervalles de temps régulier. Par exemple, l'ACÉEÉ en partenariat avec l'Association Américaine d'Énergie Éolienne organise fin mars

2005, une conférence Nord-Américaine sur l'interconnexions et l'intégration de l'éolien. De plus, il existe une littérature abondante relative à l'intégration à grande échelle de l'éolien dans les réseaux électriques modernes. Par exemple, l'Union pour la Coordination en Transport d'Électricité publiait en novembre 2004, un document de référence qui compile l'expérience des opérateurs de réseaux européens, les problèmes vécus et les solutions techniques mises en place pour faciliter l'intégration à grande échelle de l'éolien (UCTE, 2004). Dans ce contexte, l'ACÉE recommande que l'évaluation de la capacité d'intégration, au réseau d'Hydro-Québec, de l'ajout de parcs d'éoliennes au réseau électrique du Québec ne soit pas être un frein à la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle. En effet, le temps de montée en puissance de l'éolien au Québec permettra de réaliser les investissements nécessaires sur le réseau électrique, si ils sont requis.

À la lumière de l'expérience internationale, l'ACÉE suggère que l'intégration de 4 500 MW en 2012 (13,5 TWh<sup>4</sup>) et 6 000 MW (18 TWh<sup>5</sup>) d'ici 2015, constitue des objectifs réalistes qui ne présentent pas a priori de défis d'ingénierie insurmontables, ni de coûts d'intégration prohibitifs. Sur cette question, l'ACÉE suggère que l'industrie éolienne travaille, de concert avec Hydro-Québec TransÉnergie (HQT), pour trouver les sites éoliens qui minimisent les coûts d'intégration de l'éolien au réseau électrique.

Après 2015, l'ACÉE recommande que la croissance des besoins en énergie électrique au Québec soit satisfaite par l'installation chaque année d'environ 500-600 MW, soit 60 à 200 éoliennes pour maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande, ce qui augmenterait le niveau de pénétration en puissance de l'éolien dans le réseau électrique du Québec d'environ 1 % par année.

### 4.3 GÉRER LES IMPACTS DU CHAUFFAGE DE L'ESPACE

La mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle constitue une occasion unique pour le Québec de continuer la substitution de sources d'énergie importées (gaz naturel, pétrole<sup>6</sup>) dans le chauffage. Comme par le passé lorsque l'objectif principal du développement hydroélectrique était de réduire la dépendance du Québec à l'égard du pétrole, cette substitution permettrait simultanément de générer des investissements et de créer de l'emploi en région. Elle aurait aussi un effet d'entraînement sur le développement des firmes de génie-conseil et de services professionnels, ainsi que des équipementiers spécialisés en éolien.

Les impacts d'une continuation de la politique de substitution de sources d'énergie importées dans le chauffage sur les installations de production électrique de pointe pourraient être relativement mineur. En effet, il semble exister une marge de manœuvre importante caractérisée par Monsieur Lafrance (Lafrance, 2004) en ces termes : *«Par ailleurs, le choix des prochaines filières ne doit plus se faire en fonction de la gestion de pointe exclusivement; de plus en plus, le problème actuel du Québec en est un de capacité énergétique, et non de puissance brute; à cet égard, il est intéressant de constater que la pointe maximale prévue en 2014 n'est pas si différente de celle de 2008.»*

---

<sup>4</sup> Niveau de pénétration en puissance d'environ 9 %.

<sup>5</sup> Niveau de pénétration en puissance d'environ 12 %.

<sup>6</sup> 12 % des logements chauffés.

Toutefois, si la pression exercée par une plus grande pénétration de l'électricité dans le chauffage, sur les installations de production électrique de pointe devenait trop forte, un ensemble de mesure pourrait être mis en place, dont :

1. l'implantation de programmes d'efficacité énergétique<sup>7</sup> plus ambitieux dans les secteurs industriels, commerciaux et résidentiels. Dans le contexte québécois, l'ACÉE juge que la mise en place simultanée de programmes d'efficacité énergétique et de mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle sont parfaitement compatibles. Compte tenu des besoins en électricité des marchés hors Québec, l'expérience des années passées démontre que tout surplus potentiel pourrait y être vendu à profit (voir Section 5.3 sur les coûts de l'éolien);
2. l'achat ponctuel de puissance sur les marchés hors Québec. Le Québec possède plus de 4 325 MW de capacité d'importation d'électricité en provenance du Nouveau-Brunswick, de l'Ontario, de l'État de New-York et de la Nouvelle-Angleterre qui peuvent être utilisés ponctuellement à cet effet;
3. la mise en place de programmes de soutien financier à la rénovation solaire de maisons, à l'implantation de maisons solaires et de pompes à chaleurs géothermiques.

L'ACÉE souligne que le facteur d'utilisation des installations de production électrique de pointe pourrait être amélioré dans le cadre de leur utilisation pour fournir le service d'équilibrage d'HQP. Cet usage productif, de ces capacités autrement sous-utilisées la majeure partie de l'année, en maximiserait la valeur.

#### **4.4 CONCILIER CADRE RÉGLEMENTAIRE, CONCURRENCE EN APPROVISIONNEMENTS ET ÉNERGIE ÉOLIENNE**

L'ACÉE recommande que le Québec continue à supporter le développement de l'énergie éolienne en spécifiant la quantité d'énergie éolienne qu'Hydro-Québec doit acheter, tant et aussi longtemps que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur technique, économique, environnementale et sociale.

Dans le cadre des appels d'offres d'Hydro-Québec Distribution (HQD), les attributs techniques de l'éolien, de développement économique, de faibles impacts environnementaux et d'acceptabilité sociale ne sont pas pris en compte dans la sélection des projets. Ce défaut majeur dans la procédure de sélection des projets, qui par ailleurs est parfaitement adaptée pour sélectionner les projets essentiellement sur la base du coût minimum et du service de puissance équivalente pour HQD, devrait être corrigé. L'ACÉE recommande aussi que les mécanismes de choix des filières énergétiques<sup>8</sup>, le rôle de chaque division d'Hydro-Québec, notamment dans le support à l'émergence des nouvelles filières des énergies renouvelables ainsi que les lois applicables fassent l'objet d'une analyse approfondie.

---

<sup>7</sup> Notamment, les technologies de stockage thermique pour écrêter les pointes de puissance appelées.

<sup>8</sup> Historiquement, la planification intégrée des ressources devait être une approche privilégiée au Québec.

Par exemple, selon la Régie de l'énergie (2004) : «*Choix des filières : Le marché québécois de la production électrique n'offre pas à l'ensemble des filières, à tout le moins pas encore, l'accès concurrentiel et non discriminatoire voulu par la Loi sur la Régie de l'énergie. Dans ce contexte, la croissance future des besoins en approvisionnement des Québécois sera vraisemblablement comblée, en partie, par de l'électricité de source thermique, qu'elle provienne du Québec ou d'ailleurs.*»

En attendant les résultats de ces travaux, l'ACÉÉ recommande que soient lancés les appels d'offres suivants :

1. 1 000 MW en 2005;
2. 1 000 MW en 2006;
3. 1 000 MW en 2007;
4. 600 MW en 2008;
5. 500 MW en 2009;
6. 500 MW en 2010.

Après 2015, l'ACÉÉ recommande que la croissance des besoins en énergie électrique au Québec (taux de croissance de 1 %; ~ 2 TWh) soit satisfaite en lançant un appel d'offres chaque année d'environ 500-600 MW, en commençant en 2011 pour une mise en service en 2016. Les appels d'offres de 2005 à 2010, dont les dernières mises en service seraient réalisées en 2015, porteraient à 4 500<sup>9</sup> MW la capacité éolienne installée au Québec en 2012 et à 6 000 MW en 2015.

## 5 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET RÉGIONAL

Selon notre compréhension, le développement économique et régional du Québec en matière d'électricité s'articule aujourd'hui autour des thématiques suivantes :

1. maximiser les investissements;
2. créer de l'emploi;
3. limiter l'augmentation des prix de l'électricité;
4. garder l'énergie propre comme élément de politique industrielle;
5. favoriser le rôle des régions et des autochtones;
6. profiter des possibilités d'exportations;
7. favoriser nouvelles technologies, innovation et savoir faire.

Les ressources éoliennes non utilisées au Québec sont substantielles. Elles constituent une richesse en matière d'investissements, d'emplois créés et de revenus potentiels qui pourront profiter à l'ensemble des Québécois. Sur cette base et à la lumière des résultats de l'appel d'offres A/O 2003-02 d'HQD et des récents contrats conclus par des promoteurs privés avec HQP, l'ACÉÉ estime que l'énergie éolienne peut jouer un rôle central dans la réalisation de ces sept aspects fondamentaux du développement économique et régional au Québec.

---

<sup>9</sup> Incluant les contributions des projets Le Nordais (100 MW), Murdochville (100 MW), Rivière-du-Loup (200 MW) et les 1 000 MW de la Gaspésie.

## 5.1 MAXIMISER LES INVESTISSEMENTS

Les investissements découlant de la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle sont considérables. Déjà, l'appel d'offres de 1 000 MW, lancé par HQD en mai 2003 et dont les résultats ont été dévoilés le 4 octobre 2004, et les 1 000 MW additionnels d'approvisionnements éoliens qu'Hydro-Québec devra acquérir représentent plus de 3 milliards de dollars d'investissement. Pour le gouvernement du Québec, ces investissements représentent aussi la réalisation de plus de 23 M\$ en taxes indirectes et 427 M\$ en revenus d'impôt sur salaires et gages, de taxes de vente et spécifiques et de revenus parafiscaux (Hélimax, 2004).

Non seulement l'énergie éolienne est intensive en main-d'oeuvre, mais elle offre également des possibilités de développement et de création de richesse dans l'ensemble des régions du Québec avec des retombées locales importantes, ainsi que des impacts très positifs sur les autres industries. L'exemple de l'Allemagne est éloquent à cet égard, car l'industrie de l'énergie éolienne y est maintenant devenue le deuxième plus gros client, après l'industrie automobile, pour l'acier produit par l'industrie sidérurgique allemande (Umweltkontor, 2003). L'ACÉE est d'avis que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle devrait aussi être réalisée en tenant compte de son effet d'entraînement (1) sur plusieurs autres industries telles les industries sidérurgiques, des plastiques et fibre de verre, des équipements électriques et de la fabrication mécanique et (2) sur le développement de nouvelles technologies, l'innovation et les savoir-faire (voir Section 5.7).

Le gouvernement fédéral s'est engagé, lors du dernier discours du trône en octobre 2004, à quadrupler le Programme d'Encouragement à la Production d'Énergie Éolienne, et donc à porter à 4 000 MW la capacité éolienne soutenu avec un incitatif de l'ordre de 1 ¢/kWh. Le Québec a ici un intérêt stratégique d'accélérer vigoureusement le développement de l'industrie éolienne au Québec pour bénéficier financièrement de ce transfert financier en faveur d'un développement énergétique durable. Par tranche de 1 000 MW installé, c'est environ 250 M\$ de transfert aux provinces que le Québec peut aller chercher, s'il agit rapidement.

À partir d'évaluations applicables au Québec, l'ACÉE évalue que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle permettra au Québec de générer des investissements importants. Soit environ 1,5 milliard de dollars d'investissement par tranche de 1 000 MW d'éoliennes fabriquées et opérées pendant 25 ans.

## 5.2 CRÉER DE L'EMPLOI

Il est maintenant de notoriété publique que le développement de l'énergie éolienne est un secteur d'activité industrielle fortement créateur d'emplois. Dans le contexte québécois, la création d'emplois potentielle découlant de la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle est considérable. Déjà, l'appel d'offres de 1 000 MW, lancé par HQD en mai 2003 et dont les résultats ont été dévoilés le 4 octobre 2004, et les 1 000 MW additionnels d'approvisionnements éoliens qu'Hydro-Québec devra acquérir représentent plus de 31 313 emplois (en années personnes) directs et indirects (Hélimax, 2004).

À titre comparatif (Tableau 5.1), l'industrie éolienne crée nettement plus d'emplois directs par TWh produit que (1) toutes les autres options de production d'électricité actuellement envisagées au Québec et (2) l'exploration et l'exploitation des ressources pétrolière et gazière. Plus spécifiquement, l'industrie éolienne crée un minimum de quatre fois plus d'emplois directs que l'industrie du gaz naturel; d'autant plus qu'au Québec, la majorité des emplois directs associés au gaz naturel sont créés dans les provinces ou pays où la ressource est extraite.

| Secteur                    | Années personnes/Mtép | Années personnes/TWh |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Pétrole                    | 396                   | 260                  |
| Pétrole offshore           | 450                   | 265                  |
| Gaz naturel                | 428                   | 250                  |
| Charbon                    | 925                   | 370                  |
| Nucléaire                  | 100                   | 75                   |
| Énergie provenant du bois  |                       | 733-1 067            |
| Hydraulique                |                       | 250                  |
| Petite hydraulique         |                       | 120                  |
| Éolien                     |                       | 918-2 400            |
| Photovoltaïque             |                       | 29 580-107 000       |
| Bioénergie (canne à sucre) |                       | 3 711-5 392          |

Tableau 5.1: Emplois directs dans la production d'énergie

Source: Rationale for renewable energies, 2004, <http://www.renewables2004.de/pdf/tbp/TBP01-rationale.pdf>

En 2004, l'étude (Hélimax, 2004) réalisée dans le contexte québécois et déposée à la Régie de l'énergie du Québec démontrait que la construction et l'exploitation durant 25 ans de 4 000 MW<sup>10</sup> d'éoliennes entraîneraient la création de plus de 62 620 emplois (en années personnes) directs et indirects. De tels chiffres se comparent favorablement, en terme de capacité à créer de l'emploi, aux 21 500 emplois directs et indirects (en années personnes) découlant d'ici 2008, des seuls ouvrages hydroélectriques actuellement en construction.

À partir d'évaluations applicables au Québec, l'ACÉE estime donc que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle permettra au Québec de créer des emplois massivement. Soit environ 15 650 (en années-personnes) emplois directs et indirects par tranche de 1 000 MW d'éoliennes fabriquées et opérées pendant 25 ans.

### 5.3 LIMITER L'AUGMENTATION DES PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ

L'ACÉE juge que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle permettra au Québec de limiter les augmentations du prix de l'électricité. En effet, les résultats de l'appel d'offres A/O 2003-02 d'HQD ainsi que les récents contrats conclus par des promoteurs privés avec HQP, démontrent clairement la compétitivité économique actuelle de l'éolien au Québec avec le prix du marché et les futurs projets de production envisagés au Québec. En effet, le prix d'achat du kWh éolien était de :

<sup>10</sup> Le contenu québécois est basé sur un taux d'intégration de 70 %, réaliste pour plus de 4 000 MW installés.

1. 6,5 ¢/kWh de moyenne pour les huit offres retenues dans le cadre de l'appel d'offres A/O 2003-02 d'HQD;
2. 6 ¢/kWh dans le cadre du contrat signé par HQP avec la société Skypower pour le parc d'éoliennes de Rivière-du-Loup dans le Bas-St-Laurent (LesAffaires, 2004);
3. 5,6 ¢/kWh dans le cadre du contrat signé par HQP avec la firme 3Ci pour les parcs éoliens des monts Copper et Miller, à Murdochville en Gaspésie.

Historiquement, les prix de l'éolien ont baissé de 50 % durant les 15 dernières années (EWEAa, 2004). L'ACÉE estime que les prix d'achat du kWh éolien continueront à baisser durant la prochaine décennie. En effet, les prévisions basées sur l'utilisation des courbes d'expérience applicables à l'éolien démontrent qu'à chaque doublement de la capacité mondiale installée les prix baissent d'environ 9 % à 17 % (EWEAa, 2004). Hors d'ici 2013, il est prévu que la capacité mondiale installée<sup>11</sup> aura doublée une fois d'ici 2008, et une deuxième fois d'ici 2013. Par conséquent, on peut estimer que les prix de l'éolien auront baissé d'environ 9-17 % en 2008 et 18-34 % en 2013. Cette tendance de l'éolien à la décroissance des coûts<sup>12</sup>, assure à l'énergie éolienne un avantage compétitif déterminant par rapport aux nouveaux approvisionnements électriques achetés au prix du marché, lequel est en hausse constante au Québec.

L'ACÉE met sérieusement en doute la validité et la pratique d'extrapoler aux futurs projets éoliens du Québec, le coût anticipé par HQT pour l'intégration et le raccordement des 990 MW retenus dans le cadre de l'appel d'offres A/O 2003-02 par Hydro-Québec, soit 430 millions \$ ou 1,3 ¢/kWh. Ces coûts d'intégration et de raccordement ne représentent pas la réalité des coûts des futurs projets éoliens au Québec, car le choix de limiter à la Gaspésie l'implantation de 1 000 MW d'énergie éolienne ne constitue pas un choix idéal. En effet, il est reconnu que la capacité du réseau de transport et les interconnexions y sont limitées. Pour paraphraser Monsieur Lafrance (Lafrance, 2004) : *«On comprend tous que ce choix est basé sur des considérations politiques et industrielles, légitimes dans les circonstances. Mais d'un point de vue mathématique et systémique, force est d'admettre que ce projet de 1 000 MW ne rencontre pas les critères d'intégration optimale sur le réseau».*

L'ACÉE recommande que l'on ouvre l'ensemble du territoire du Québec aux projets éoliens pour limiter au strict minimum, les coûts d'intégration et de raccordement. Dans le cadre des futurs projets, les promoteurs de projets éoliens devraient être libres de trouver les meilleurs emplacements (1) qui minimisent les coûts d'intégration et de raccordement au réseau de transport existant, mais aussi les coûts de construction et (2) qui présentent les potentiels éoliens les plus élevés.

L'ACÉE met aussi en doute la valeur élevée de 0,9 ¢/kWh pour le coût du service d'équilibrage afin de pallier à l'intermittence de l'énergie éolienne. Ce coût du service d'équilibrage (14 % du prix d'achat moyen) chargé par HQP à HQD ne semble pas représenter la réalité des coûts réellement encourus. En effet, selon une revue exhaustive (Tableau 5.2) des pratiques actuelles de plusieurs utilités américaines et dans le contexte de nombreuses évaluations pour des projets

---

<sup>11</sup> BTM Consult prévoit 194 000 MW installés en 2013, soit 4,3 fois la capacité mondiale installée actuellement (45 000 MW).

<sup>12</sup> Certains facteurs comme les taux de change, le prix de l'acier ou une modification des conditions d'interconnexions pourraient cependant avoir une influence à la hausse sur les coûts de l'éolien.

éoliens spécifiques, les coûts du service d'équilibrage sont nettement inférieurs à ceux chargés par HQP. La gamme de variation des coût d'équilibrage est de 0,18 à 0,68 ¢/kWh (CAN), soit très nettement en dessous du prix chargé par HQP. De plus, les coûts du service d'équilibrage devraient être plus faibles lorsque le taux de pénétration en puissance sur le réseau est faible (Tableau 5.2). Comme au Québec, le taux de pénétration de l'éolien est actuellement inférieur à 0,5 %, les coûts du service d'équilibrage devraient plutôt être de l'ordre de 0,18 ¢/kWh, et non pas 0,9 ¢/kWh.

| Étude          | Taux de pénétration de l'éolien (%) | Régularisation (\$ US/MWh) | Suivi de la charge (\$ US/MWh) | Unités de production en attente (\$ US/MWh) | Total (\$ US/MWh) |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|-------------------|
| UWIG/Xcel      | 3,5                                 | 0                          | 0,41                           | 1,44  | 1,85              |
| PacifiCorp     | 20                                  | 0                          | 2,50                           | 3,00  | 5,50              |
| BPA            | 7                                   | 0,19                       | 0,28                           | 1,00-1,80                                   | 1,47-2,27         |
| Hirst          | 0,06-0,12                           | 0,05-0,30                  | 0,70-2,80                      | NA  | NA                |
| We Energies I  | 4                                   | 1,12                       | 0,09                           | 0,69  | 1,90              |
| We Energies II | 29                                  | 1,02                       | 0,15                           | 1,75  | 2,92              |
| Great River I  | 4,3                                 |                            |                                |   | 3,19              |
| Great River II | 26,6                                |                            |                                |   | 4,53              |
| CA RPA Phase I | 4                                   | 0,17                       | NA                             | NA  | NA                |

Tableau 5.2: Évaluation des coûts du service d'équilibrage aux États-unis

Source : Smith et al., 2004, <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35946.pdf>

Compte tenu de la large plage de variation observée et de la différence très importante entre les coûts du service d'équilibrage au Québec (0,9 ¢/kWh) et ailleurs en Amérique du Nord (0,18 ¢/kWh) pour des taux de pénétration similaire, l'ACÉE demande au gouvernement du Québec de mandater la Régie de l'énergie du Québec pour réaliser rapidement un examen détaillé de tous les items de coûts inclus dans le coût du service d'équilibrage. Cet examen devrait être réalisé de manière transparente pour faire toute la lumière sur l'existence et la valeur exacte du coût du service d'équilibrage au Québec, en tenant compte notamment, des évaluations découlant de l'expérience internationale.

Pour s'assurer d'un traitement équitable des projets éoliens vs. les autres projets d'approvisionnement en électricité au Québec, l'ACÉE recommande qu'à l'avenir :

1. les projets de production d'électricité soient aussi comparés sur la base :
  - 1.1. d'une même quantité d'énergie produite;
  - 1.2. d'une même quantité de puissance produite en tenant compte des coûts réels associés à la fourniture d'un service en puissance, que ce soit (1) en quantifiant de manière réaliste le coût du service en puissance fourni par l'utilisation des installations de production électrique de pointe ou un suréquipement hydroélectrique dédié (turbines hydrauliques additionnelles aux sites déjà existants), (2) en achetant ce service auprès d'HQP ou (3) par l'achat de puissance au prix du marché grâce aux interconnexions;

- 1.3. de la quantification des divers avantages économiques de l'éolien tels que :
  - 1.3.1. l'augmentation du facteur d'utilisation des installations de production électrique de pointe;
  - 1.3.2. la diminution du risque financier (variation des prix des combustibles) et de rupture des approvisionnements (risque géopolitique) liés à la possibilité d'une mise en service progressive et décentralisée, et potentiellement plus rapide, des centrales éoliennes qui peuvent aussi suivre l'augmentation annuelle de la demande en électricité;
  - 1.3.3. les coûts évités en transmission et distribution associés à la production distribuée;
  - 1.3.4. les coûts évités associés aux pertes d'énergie évitées;
  - 1.3.5. etc.;
- 1.4. d'années de mise en service comparables pour tenir compte de la diminution des coûts de l'éolien avec le temps;
2. les coûts d'intégration et de raccordement, ainsi que d'équilibrage, de chaque projet éolien soient évalués au cas par cas de manière transparente, et non pas extrapolés à partir des valeurs découlant d'une extrapolation des valeurs issues de l'appel d'offres A/O 2003-02.

Par exemple, l'ACÉE juge que la comparaison du coût de production de l'éolien avec celui du projet La Romaine réalisée à la page 26 (MRNFPQ, 2004a) est totalement inadéquate pour les raisons suivantes :

1. on compare le coût de production de la centrale hydroélectrique La Romaine de 1 500 MW (7,5 TWh) avec le coût de production issu d'un appel d'offres pour 1 000 MW (3,2 TWh) d'énergie éolienne. Comme la quantité d'énergie produite par La Romaine est 2,3 fois plus importante, on devrait plutôt comparer avec un projet éolien de 2 350 MW. Ainsi, l'éolien pourrait bénéficier des économies d'échelle et des effets d'apprentissage en fabrication, construction et développement qui permettraient une comparaison économique équitable;
2. on compare le coût de production de la centrale hydroélectrique La Romaine qui serait mise en service en 2015 avec le coût de production d'un projet éolien installé entre 2006 et 2012. Or en 2015, le coût de production de l'éolien aura baissé d'un minimum de 18 à 34 %. On devrait plutôt comparer les coûts de production à la même date de mise en service;
3. les coûts d'intégration et de raccordement ainsi que le coût du service d'équilibrage attribué à l'éolien sont extrapolés à partir des valeurs issues de l'appel d'offres A/O 2003-02. Or tel que discuté précédemment, cette pratique est inappropriée, car elle s'appuie sur un cas particulier, pour en faire une généralité.

Par conséquent, L'ACÉE conteste la conclusion d'un écart de 1,7 ¢/kWh en faveur de la grande hydraulique dans le cadre de la comparaison entre le projet La Romaine de 1 500 MW mis en service en 2015 et le projet éolien de 1 000 MW en Gaspésie à mettre en service entre 2006 et 2012.

#### **5.4 GARDER L'ÉNERGIE PROPRE COMME ÉLÉMENT DE POLITIQUE INDUSTRIELLE**

L'ACÉÉ considère que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle permettra au Québec de garder l'énergie propre comme élément de politique industrielle pour les raisons suivantes :

1. l'éolien est un facteur de stabilisation des prix de l'électricité, car son coût de revient déjà compétitif est en continuelle décroissance (voir section 5.3), contrairement aux nouveaux approvisionnements électriques achetés au prix du marché, lequel est en hausse constante. En somme, à l'inverse du thermique, l'éolien est un facteur de maintien de tarifs avantageux et prévisibles;
2. l'éolien est compatible avec un réseau de transport robuste et fiable qui offre une grande qualité de l'onde (voir Section 4.2);
3. l'éolien développé à grande échelle rend compatible :
  - 3.1. les avantages du développement industriel québécois;
  - 3.2. le maintien de tarifs plus bas pour toutes les autres catégories de consommateurs du Québec;
  - 3.3. les bénéfices d'exportations lucratives d'électricité sur les marchés extérieurs; et
  - 3.4. la croissance du parc électrique avec les besoins des industries consommatrices;
4. l'éolien est aussi un facteur de diversification significatif des approvisionnements en électricité (voir Section 4.1).

En plus de ces bénéfices, le développement proposé aura comme conséquence de diversifier, renforcer et stabiliser l'industrie électrique québécoise, notamment son offre de services et d'équipements sur le marché canadien et les marchés internationaux. En ajoutant firmes de génie-conseil et de services professionnels spécialisées en génie éolien ainsi que des équipementiers spécialisés dans la fabrication de l'ensemble des pièces, de l'outillage et de l'appareillage requis pour les éoliennes et les centrales éoliennes, le Québec aura la capacité de prendre sa juste place dans un marché international dont le taux de croissance annuel est de l'ordre de 32 %. Pour ce faire, l'accélération des projets de développement éolien au Québec, ainsi que l'augmentation bien au-delà des 1 000 MW additionnels annoncés le 5 juillet 2004 par le MRNFQ (2004b) apparaissent comme des impératifs incontournables pour accroître significativement le contenu régional et québécois des projets éoliens. De tels développements seraient incontestablement de nature à consolider l'économie et l'emploi au Québec.

#### **5.5 FAVORISER LE RÔLE DES RÉGIONS ET DES AUTOCHTONES**

L'ACÉÉ estime que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle respecte intégralement la volonté du gouvernement du Québec de contribuer au développement des régions par la mise en valeur des ressources énergétiques. De plus, l'ACÉÉ tient à souligner que cette mise en valeur est aussi parfaitement compatible avec la volonté du gouvernement du Québec de contribuer au développement des régions par la mise en valeur, sur le même territoire, des ressources minières, forestières, fauniques et récréatives.

De par son caractère distribué sur le territoire, la présence de la ressource éolienne doit être considérée comme un atout par le gouvernement du Québec dans sa volonté de miser sur les activités économiques en région. Dans ce cadre, la mise en valeur du potentiel éolien du Québec peut soutenir l'objectif gouvernemental de favoriser le développement socio-économique des communautés autochtones, tout en étant parfaitement compatible avec les valeurs environnementales, sociales et ancestrales de ces communautés. L'ACÉE considère d'ailleurs que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle peut, a priori, être entreprise dans le respect :

1. des ententes-cadres, de déclarations de compréhension et de respect mutuel, d'ententes particulières ou d'ententes sectorielles signées entre les communautés autochtones et le gouvernement du Québec;
2. du développement économique et social des communautés concernées;
3. du développement économique et social de l'ensemble du Québec

Finalement, l'ACÉE juge que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle peut être réalisée tout en facilitant une plus grande prise en charge par les autochtones et/ou les organismes représentatifs du milieu (MRC et autres) de leur propre développement, notamment sur la base de partenariats dans le développement des ressources éoliennes. De telles pratiques, dont l'industrie éolienne à l'expérience, respecteraient le cadre réglementaire actuel tout en constituant un potentiel de développement économique sous la responsabilité plus directe des acteurs locaux.

En résumé, l'éolien a une vocation naturelle à favoriser le rôle des régions et des autochtones, car c'est sur le territoire que les centrales éoliennes sont installées. De plus, l'industrie éolienne comme elle l'a déjà fait par le passé, est prête à œuvrer en partenariat avec tous les intervenants du milieu au développement de la ressource éolienne exceptionnelle du Québec. La très grande acceptabilité sociale des centrales éoliennes au Québec (Équiterre et Greenpeace, 2004; TechnoCentre, 2004) devrait d'ailleurs grandement faciliter la mise sur pied de tels partenariats de développement. Finalement, la réponse efficace de l'industrie éolienne aux exigences du gouvernement du Québec (appel d'offres A/O 2003-02) démontre concrètement que l'industrie éolienne est prête à relever les défis du développement économique régional, tout en constituant une option économique de production d'électricité (voir section 5.3).

## 5.6 PROFITER DES POSSIBILITÉS D'EXPORTATIONS

L'ACÉE estime que l'atteinte des objectifs économiques, sociaux, environnementaux et d'équilibre budgétaire du Québec, pourrait être facilitée par le développement d'exportations de deux types soit :

1. l'exportation de l'électricité produite à partir des éoliennes;
2. l'exportation des produits et services en éolien.

L'ACÉE suggère que la ressource éolienne exceptionnelle du Québec devrait être développée à grande échelle pour dégager les marges de manoeuvre qui permettraient, une fois les besoins en électricité des Québécois satisfaits, de recourir, lorsque la situation le permet, à des exportations rentables sur les marchés voisins. Plusieurs raisons militent en faveur de cette approche, soit :

1. la compétitivité des coûts de l'éolien avec les nouveaux projets (voir section 5.3);
2. la compétitivité des coûts de l'éolien avec le prix moyen de l'électricité vendue à l'exportation en 2003, soit 8,8 ¢/kWh (Fortin, 2004). L'écart avec ce prix moyen se creusera, car les coûts de l'énergie éolienne sont en décroissance, tandis que le prix du marché est en hausse constante sur les marchés hors Québec;
3. la qualité exceptionnelle du gisement éolien du Québec (EC, 2004; Hélimax, 2004) ainsi que sa bonne distribution sur l'ensemble du territoire desservi par un réseau de transport étendu et interconnecté (Côte-Nord, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Nord-du-Québec, Saguenay-Lac-St-Jean, Montérégie);
4. la maximisation du facteur d'utilisation des lignes de transport existantes grâce aux apports éoliens qui agissent au même titre qu'une centrale au fil de l'eau ou un détournement de rivière, en augmentant la capacité énergétique globale (Lafrance, 2004), et donc le potentiel d'exportation d'électricité;
5. la maximisation de la capacité de stockage des immenses réservoirs hydrauliques du Québec qui peuvent emmagasiner l'énergie éolienne pour la revendre à prix avantageux à d'autres moments à des réseaux voisins;
6. la complémentarité des énergies éoliennes et hydrauliques qui s'appuie sur les faits suivants (Lafrance, 2004) :
  - 6.1. la distribution d'apport énergétique de l'éolien est mieux répartie dans le temps que celle des apports hydrauliques; et
  - 6.2. la variabilité saisonnière du vent semble globalement inférieure à celle de l'apport hydraulique;
7. la très grande acceptabilité sociale<sup>13</sup> des centrales éoliennes au Québec (Équiterre et Greenpeace, 2004; TechnoCentre, 2004);
8. les retombées économiques importantes associées en terme :
  - 8.1. d'investissements (voir Section 5.1);
  - 8.2. d'emplois (voir Section 5.2); et
  - 8.3. de revenus gouvernementaux tels les impôts, taxes (Hélimax, 2004) et bénéfiques d'Hydro-Québec;
9. l'amélioration de la qualité de l'environnement du Nord-est américain lorsque l'on déplace de l'électricité produite en utilisant des sources de production d'énergie polluantes comme les centrales au gaz naturel, au mazout ou au charbon;
10. par tranche de 1 000 MW d'éolien installée au Québec, les résultats de l'appel d'offres A/O 2003-02 d'HQP ont démontrés que plus de 3,2 TWh d'énergie pourraient être rendu disponible aux fins d'exportation.

---

<sup>13</sup> Particulièrement dans le cas où les centrales éoliennes seraient interconnectées au réseau déjà existant, ce qui ne nécessiterait pas la construction de nouvelles lignes tout en limitant au minimum les coûts d'intégration associés.

L'ACÉE est aussi d'avis que les exportations de produits et services en éolien constituent une source potentielle d'enrichissement collectif à encourager. À titre d'exemple, le Danemark avec une économie comparable à celle du Québec a créé plus de 20 000 emplois permanents, directs et indirects, en éolien et exporte maintenant plus de 90 % de sa production d'éoliennes (DWIA, 2004). L'Allemagne exportait 22 % de sa production en 2002, soit une valeur de vente d'environ 770 M\$. Une politique plus agressive d'intégration de l'éolien à l'économie québécoise, comme celle poursuivie durant les dernières décennies pour l'hydroélectricité, permettrait (1) d'augmenter le contenu québécois des projets éoliens bien au-delà des 60 %, (2) d'attirer plusieurs manufacturiers de classe mondiale et (3) de stimuler leur capacité d'exportation en Amérique du Nord. Plusieurs manufacturiers européens sont activement à la recherche de sites au Canada pour installer des capacités manufacturières localisées stratégiquement afin de bénéficier d'un taux de change attractif, de faibles coûts de transport, d'un environnement d'affaires stable (quota d'énergie éolienne) et d'un accès privilégié au marché américain (ALENA). Le Québec a un intérêt stratégique et le potentiel pour accueillir ces manufacturiers. Les initiatives et recommandations proposées dans un rapport sur l'industrialisation actuelle et future de la filière éolienne au Canada (Synova, 2004) devraient être mises en place rapidement. Ainsi, l'intégration de l'industrie éolienne à l'économie québécoise serait accélérée et la reconversion potentielle à l'éolien, de certains des fournisseurs de produits et services des autres secteurs de l'industrie énergétique québécoise facilitée.

Dans cette perspective, le Québec pourrait créer ou maintenir de 7 à 9 emplois directs et indirects et générer des ventes de 1,1 M\$ par MW d'éolienne exporté (Hélimax, 2004).

## **5.7 FAVORISER NOUVELLES TECHNOLOGIES, INNOVATION ET SAVOIR-FAIRE**

L'ACÉE souhaite tout d'abord rappeler que l'industrie éolienne est à fort contenu technologique dans les domaines des sciences et technologies suivants :

1. la météorologie;
2. l'offshore;
3. l'aérodynamique et l'aéroélasticité;
4. la fabrication d'équipements mécanique et électrique;
5. l'électromécanique;
6. l'électronique de puissance;
7. les matériaux composites.

Les progrès scientifiques et technologiques continus dans ces domaines ont permis les développements fulgurants des éoliennes tels qu'illustrés sur la Figure 5.1.

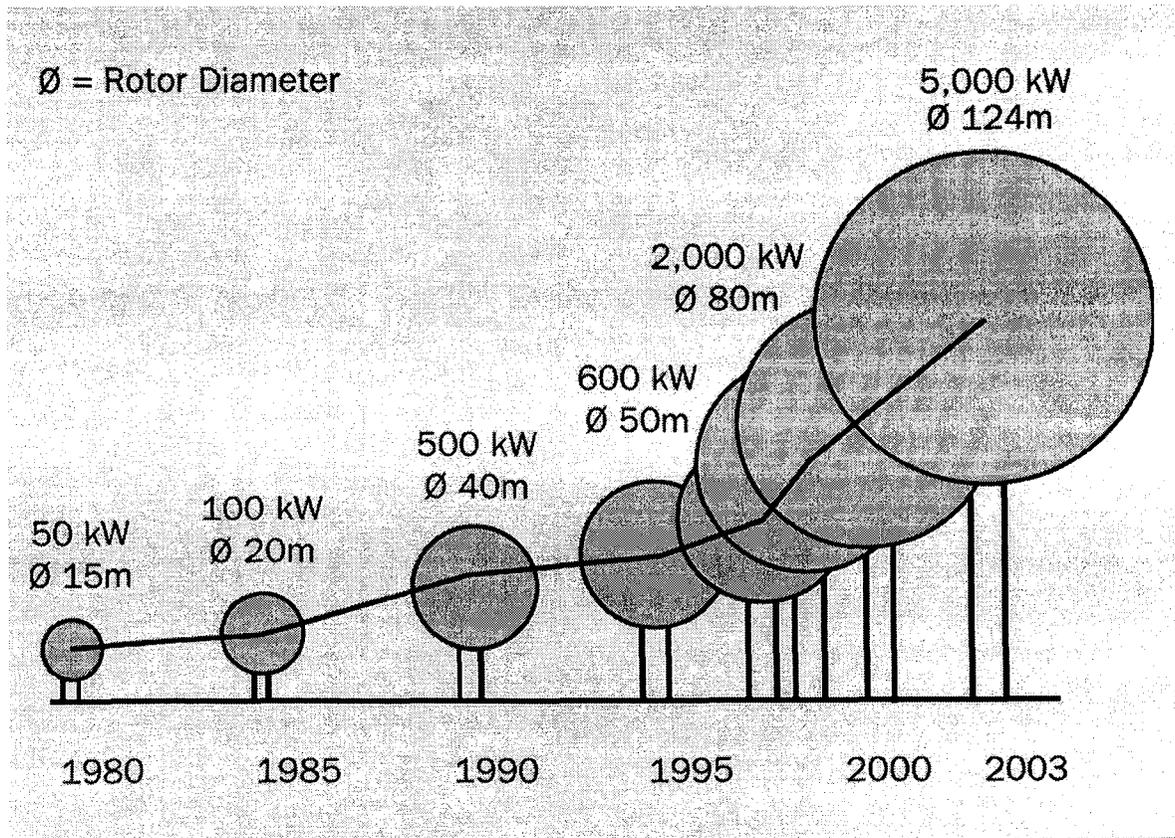


Figure 5.1: Évolution de la taille des éoliennes poussée par les progrès technologiques  
Source : EWEAb, 2004, [http://www.ewea.org/documents/factsheet\\_technology2.pdf](http://www.ewea.org/documents/factsheet_technology2.pdf)

L'ACÉÉ est d'avis que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle peut stimuler le développement de nouvelles technologies, l'innovation et les savoir-faire. Pour ce faire, un appui structuré et ciblé au développement de nouvelles technologies, à l'innovation et au savoir-faire en éolien, une des rares sources d'énergie dont les coûts continueront à décroître (voir Section 5.3), permettra au Québec :

1. de rester concurrentiel dans le contexte de la mondialisation de l'économie;
2. d'assurer, à partir des ressources disponibles sur son territoire, la sécurité de ses approvisionnements énergétiques en électricité;
3. de contribuer de façon majeure à protéger l'environnement au Québec, et à l'international;
4. de favoriser l'accroissement de la part de l'électricité dans le bilan énergétique du Québec, sur la base d'une source d'énergie renouvelable nationale et indépendante des aléas de la conjoncture géopolitique internationale.

Actuellement, les dépenses publiques annuelles du Québec en R-D sur l'éolien sont de l'ordre de 300 à 400 000 \$ (IREQ, ÉTS, MRNFPQ). Ce chiffre doit être mis en perspective avec les importants efforts publics de R-D consentis chaque année par les 18 pays membres de l'Agence Internationale de l'Énergie qui participent activement à la R-D en énergie éolienne depuis plus de dix ans (Figure 5.2).

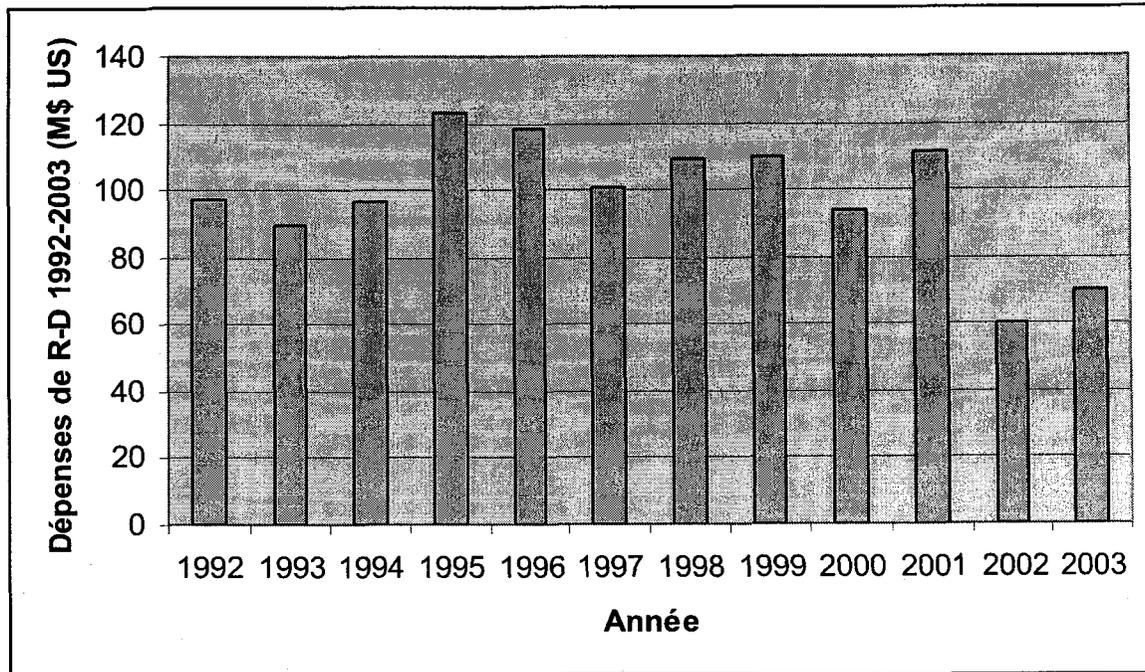


Figure 5.2: Dépenses totales de R-D en éolien

Source : IEA Energy Technology R&D Statistics Service, Energy Statistics Division and the Energy Technology Policy Division of the International Energy Agency,

<http://library.iea.org/rdd/fra/TableViewer/Wdsview/dispviewp.asp?ReportId=1>

L'ACÉÉ recommande qu'une mise à niveau internationale, soit environ à 5 M\$<sup>14</sup> par an, des investissements du Québec en R-D dans le secteur éolien permettrait d'apporter une réponse définitive à un certain nombre de questions d'intérêt pour Hydro-Québec, l'industrie éolienne et le Québec, par exemple :

1. quel est le niveau de pénétration maximal, en puissance et énergie, que l'éolien peut atteindre au Québec sans porter atteinte à l'intégrité (qualité de l'onde, tension) et la fiabilité du réseau électrique de transport?
2. quels sont les paramètres critiques (distribution sur le territoire, températures, équipements électriques, interconnexions, etc.) qui déterminent le niveau de pénétration maximal de l'éolien sur le réseau?
3. quelles sont les mesures adoptées par les utilités des pays et régions pour gérer actuellement et à long terme de forts taux de pénétration d'éolien?

<sup>14</sup> À titre de comparaison, avec une population qui représente seulement 72 % de la population du Québec, le Danemark investissait en 2003, 8 M\$ US en R-D sur l'éolien avec plus de 120 chercheurs spécialistes du secteur.

4. quels sont réellement les investissements (type, localisation, coûts) à réaliser sur le réseau électrique de transport pour maximiser la pénétration de l'éolien dans le réseau électrique du Québec?
5. quelles sont les stratégies optimales de gestion annuelle et pluriannuelle des réservoirs pour maximiser la pénétration de l'éolien et pallier aux variations de l'hydraulicité tout en maximisant les possibilités d'exportation d'électricité sur le réseau de transport actuel?
6. quels sont exactement les problèmes et solutions techniques pour optimiser la gestion au quotidien du réseau de transport afin de faciliter une plus grande pénétration de l'éolien?
7. quels sont les outils que l'industrie éolienne a déjà développés pour maximiser l'intégration de l'éolien aux réseaux électriques? Comment adapter ces outils au contexte du réseau électrique du Québec?

Par exemple, l'IREQ dont les compétences sont reconnues internationalement notamment pour ses travaux en simulation de réseaux et développement de systèmes éoliens diesel, pourrait prendre en charge en partenariat avec l'industrie éolienne le développement des réponses à ces questions.

Dans la mesure où le Québec choisit, tout comme dans le domaine de l'hydroélectricité, de développer à grande échelle son potentiel éolien, le contenu québécois des projets éoliens pourrait être nettement supérieur à 60 %<sup>15</sup>. Grâce à ce contenu québécois plus élevé, le Québec pourrait aussi bénéficier d'activités industrielles à plus haute valeur ajoutée telle la R-D en éolien, la conception et la fabrication des roulements, génératrices, boîtes d'engrenages et des systèmes électroniques de contrôle des centrales et des éoliennes. De telles activités, couplées à l'accroissement du budget de R-D en éolien au Québec et au développement de partenariats de recherche avec l'industrie, permettraient :

1. de supporter un développement technologique structurant qui favorise la compétitivité des entreprises en éolien et la diversification de l'industrie énergétique québécoise;
2. d'améliorer les connaissances portant sur la ressource éolienne et la technologie des éoliennes en s'inscrivant dans les tendances illustrées sur la Figure 5.1;
3. de définir les conditions d'exploitation optimale de la ressource éolienne;
4. de créer des emplois spécialisés et de former la main-d'œuvre spécialisée en éolien;
5. de créer une masse critique de chercheurs en éolien dans les secteurs publics et privés;
6. de minimiser les impacts environnementaux du système énergétique québécois et continental;
7. d'ouvrir de nouveaux marchés d'exportation pour la technologie éolienne du Québec;
8. d'accroître l'exportation d'électricité du Québec.

---

<sup>15</sup> Pour se rapprocher du contenu québécois de l'industrie hydroélectrique québécoise.

## 6 ÉNERGIE ÉOLIENNE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Actuellement, le développement énergétique durable du Québec s'articule autour des thématiques suivantes :

1. limiter la pollution atmosphérique;
2. limiter les émissions de gaz à effet de serre;
3. éviter les impacts environnementaux des autres sources;
4. supporter un Québec chef de file dans le nord-est de l'Amérique;
5. renforcer la pénétration des énergies renouvelables.

Dans le contexte délimité par ces enjeux, l'ACÉE évalue que l'énergie éolienne peut jouer un rôle central au Québec pour la réalisation d'un développement énergétique durable.

### 6.1 LIMITER LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

L'ACÉE soutient que l'énergie éolienne représente l'une des sources d'énergie avec les plus faibles émissions de polluants atmosphériques (Figure 6.1 et 6.2). Cette opinion repose sur les résultats de nombreuses études scientifiques réalisées de manière indépendantes et qui ont produit des résultats convergents selon la méthodologie de l'analyse du cycle de vie durant la dernière décennie (Krewitt et al., 1997; Aróstegui et al., 1997; Schleisner et al., 1997; Berry et al., 1998).

Les émissions de polluants atmosphériques rapportées dans les Figures 6.1 et 6.2 pour l'éolien, sont essentiellement générées durant les phases de fabrication, de démantèlement, de recyclage et de mise au rebut des composantes des éoliennes (Tech-Wise, 1999); les phases d'opération et de transport/érection contribuant de manière secondaire à ces émissions. Durant ces diverses phases, les émissions de polluants atmosphériques pourraient être encore réduites de manière significative si des procédés industriels propres étaient adoptés<sup>16</sup> dans les diverses industries impliquées (fabrication, transport).

---

<sup>16</sup> Par exemple, si l'électricité consommée durant la fabrication provenait de sources d'énergies renouvelables au lieu de la combustion de combustibles fossiles. Ce qui serait le cas, si l'essentiel des activités de fabrication étaient réalisées au Québec.

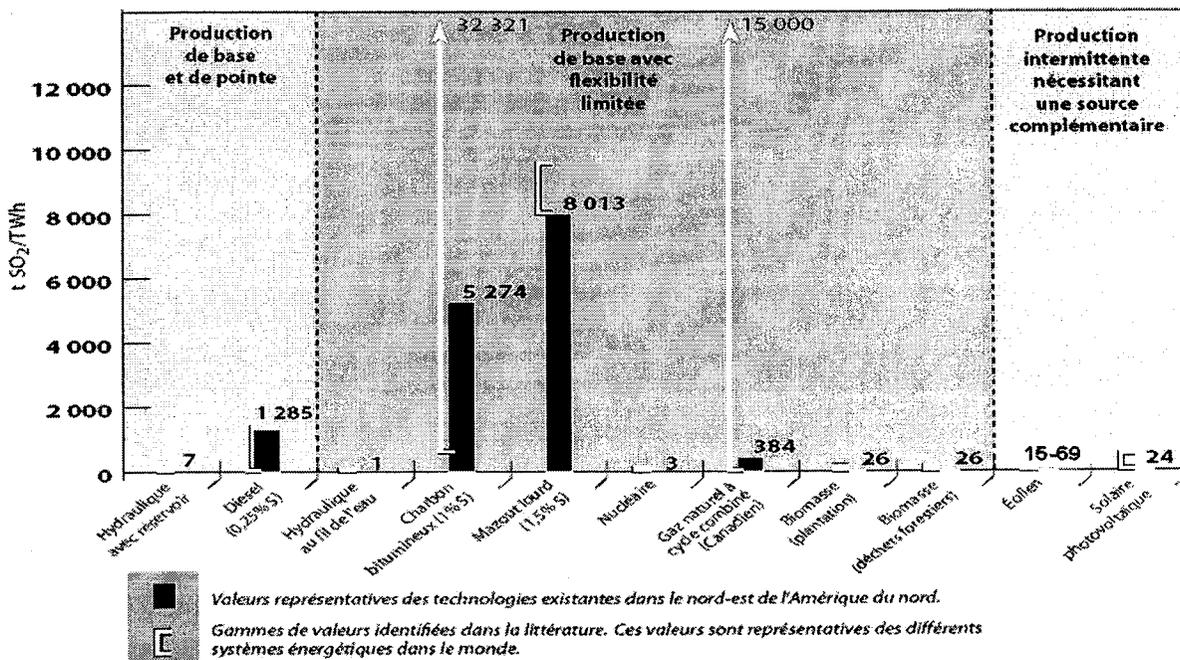


Figure 6.1: Émissions de SO<sub>2</sub> pour diverses filières énergétiques

Source : Hydro-Québec, Comparaison des options de production d'électricité, Les précipitations acides : enjeux environnementaux,

[http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/repertoire/pdf/pop\\_01\\_01.pdf](http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/repertoire/pdf/pop_01_01.pdf)

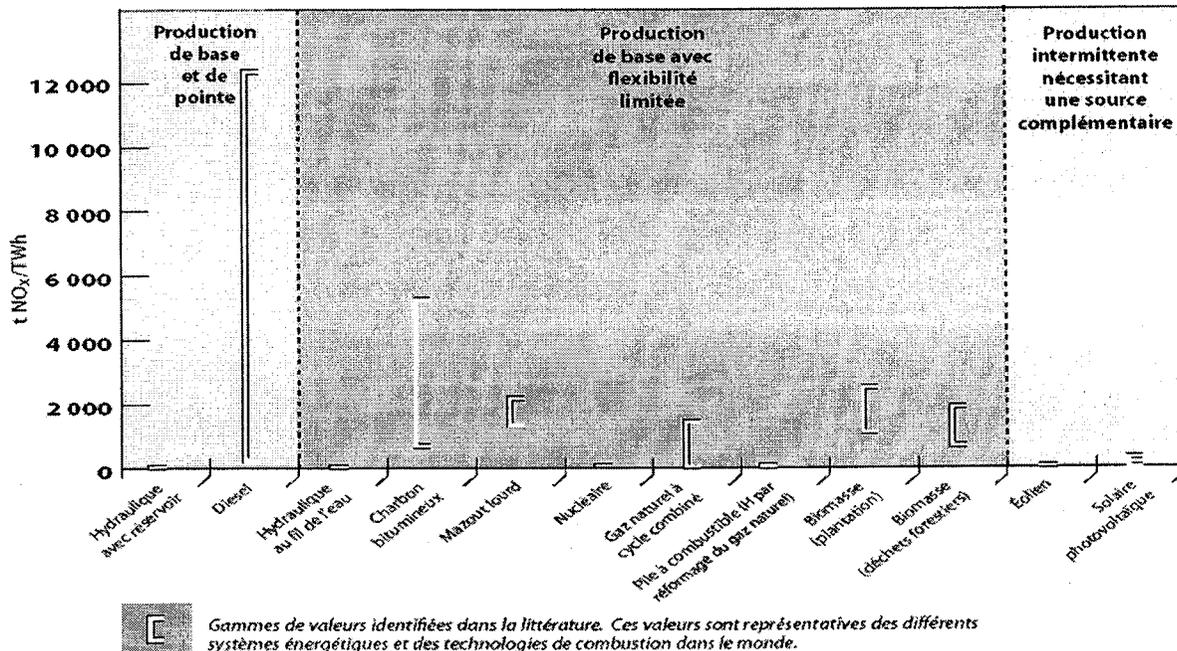


Figure 6.2: Émissions de NO<sub>x</sub> pour diverses filières énergétiques

Source : Hydro-Québec, Comparaison des options de production d'électricité, Les précipitations acides : enjeux environnementaux,

[http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/repertoire/pdf/pop\\_01\\_01.pdf](http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/repertoire/pdf/pop_01_01.pdf)

Avec des émissions de polluants atmosphériques de l'ordre de 15 à 69 t SO<sub>2</sub> par TWh et de 20 à 75 t de NO<sub>x</sub> par TWh, l'ACÉÉ estime que l'énergie éolienne constitue une option de faibles émissions de polluants atmosphériques à privilégier. D'autant plus que certaines des alternatives telles que les plus performantes des centrales au gaz naturel à cycle combiné émettent plus de 20 fois la quantité de ces polluants par TWh produit.

Dans cette perspective, l'ACÉÉ estime que l'énergie éolienne constitue le meilleur choix pour limiter les émissions de polluants atmosphériques au Québec tout en accroissant l'importance des énergies renouvelables dans le bilan énergétique.

## 6.2 LIMITER LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre (GES), l'ACÉÉ est d'avis que l'énergie éolienne représente l'une des sources d'énergie avec les plus faibles émissions de GES (Figure 6.3). Cette opinion est basée sur les résultats de nombreuses études scientifiques réalisées de manière indépendante et qui ont produit des résultats convergents selon la méthodologie de l'analyse du cycle de vie durant la dernière décennie (White et Kulcinski, 1998; McCulloch, Raynold et Laurie, 2000, Meier, 2002; Denholm et Kulcinski, 2003).

Émissions de gaz à effet de serre (kt eq. CO<sub>2</sub>/TWh)

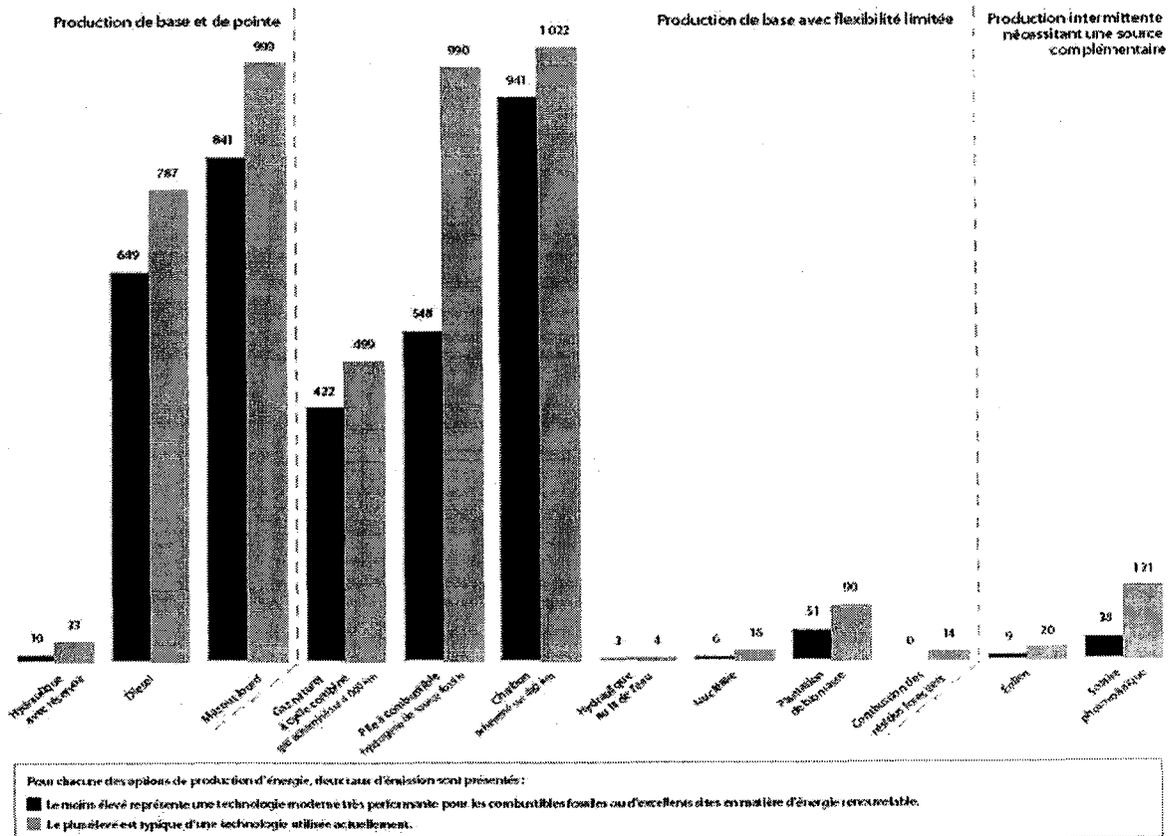


Figure 6.3: Émissions de gaz à effet de serre pour diverses filières énergétiques

Source : Hydro-Québec, Choisir la meilleure filière de production, Émission de gaz à effet de serre liée aux options de production d'énergie (exprimés en kilotonne équivalent CO<sub>2</sub>), [http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport\\_perf\\_enviro/2002/pdf/fiches/fiche6.pdf](http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport_perf_enviro/2002/pdf/fiches/fiche6.pdf)

Les émissions de GES rapportées dans la Figure 6.3 pour l'éolien, sont à plus de 96 % générées durant les phases de fabrication, de démantèlement, de recyclage et de mise au rebut des composantes des éoliennes (Tech-Wise, 1999). Tandis que les phases d'opération et de transport/érection représentent chacune environ 2 % des émissions de GES durant le cycle de vie des centrales éoliennes. Les émissions encourues durant ces diverses phases pourraient être encore réduites de manière significative si des procédés industriels propres étaient adoptés<sup>17</sup> dans les diverses industries impliquées (fabrication, transport).

Avec des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 9 à 20 kt équivalent CO<sub>2</sub> par TWh, l'ACÉE juge que l'énergie éolienne constitue une option de faibles émissions de GES à privilégier dans le cadre de la mise en place des mécanismes d'application du protocole de Kyoto au Canada. D'autant plus que certaines des alternatives telles que les plus performantes des centrales au gaz naturel à cycle combiné émettent au moins 20 fois plus de GES par TWh produit et ne permettraient pas d'obtenir autant de crédits d'émission de GES que les centrales éoliennes. En effet, de telles centrales au gaz naturel émettent environ deux fois moins de GES que les centrales au charbon, tandis que les centrales éoliennes émettent durant leur cycle de vie environ 47 fois moins de GES que les centrales au charbon. Par conséquent, toute comparaison entre l'option centrale au gaz naturel à cycle combiné et centrale éolienne devrait tenir compte du fait que ces dernières pourraient recevoir 400 kt équivalent CO<sub>2</sub> par TWh de crédits d'émission de GES supplémentaires. La disponibilité de ces crédits pourrait donner au Québec une marge de manœuvre plus grande dans l'énoncé d'objectifs spécifiques chiffrés.

L'ACÉE estime que l'énergie éolienne représente le meilleur choix pour limiter les émissions de GES, et atteindre les objectifs régionaux de réduction de GES, tout en respectant la responsabilité du gouvernement de veiller à la sécurité énergétique des Québécois et de ne pas compromettre la compétitivité de l'économie du Québec.

### 6.3 ÉVITER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES AUTRES SOURCES

L'ACÉE reconnaît que le développement de l'énergie éolienne peut avoir certains impacts environnementaux et sociaux, essentiellement réversibles et de faible intensité (paysage, bruit, oiseaux). Pour chacun de ces impacts potentiels, il est possible de mettre en place des mesures d'atténuation efficaces qui tiennent compte des préoccupations environnementales des populations locales. Dans des pays tels le Danemark (43 094 km<sup>2</sup>; 125 habitants par km<sup>2</sup>; 3 115 MW éolien) et l'Allemagne (357 021 km<sup>2</sup>; 232 habitants par km<sup>2</sup>; 14 609 MW éolien) où la sensibilité de la population aux questions environnementales et la densité de population sont très grandes, le développement rapide, en croissance et très important de l'énergie éolienne témoignent largement de la capacité de l'industrie éolienne à réaliser un développement harmonieux et durable de ces activités. Au Québec<sup>18</sup> (1 667 926 km<sup>2</sup>; 5 habitants par km<sup>2</sup>; 208 MW éolien), l'étendue du territoire, l'existence de ressources éoliennes importantes en régions éloignées, la faible densité de population et la sensibilité démontrée de la population

---

<sup>17</sup> Par exemple, si l'électricité consommée durant la fabrication provenait de sources d'énergies renouvelables au lieu de la combustion de combustibles fossiles. Ce qui serait le cas, si l'essentiel des activités de fabrication étaient réalisées au Québec.

<sup>18</sup> 39 fois la superficie du Danemark et 4,7 fois la superficie de l'Allemagne.

québécoise aux questions environnementales devraient grandement faciliter l'intégration environnementale et sociale des centrales éoliennes.

Par rapport à la plupart des autres sources d'énergie et filières énergétiques, la technologie éolienne maintenant développée dans sa forme moderne depuis plus de 25 ans présente les avantages environnementaux (ExternE; 1997-2003) suivants :

1. pas de changement de vocation du territoire où sont installées les centrales éoliennes (forêts, terres agricoles, cours d'eau, lacs, etc.);
2. pas d'accidents d'envergure catastrophique (marées noires, fuite de gaz naturel, explosion nucléaire, etc.);
3. pas d'émission sur une base continue et à grande échelle de molécules polluantes (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Mercure, Benzène, Benzo-[a]-pyrène, 1,3-butadiène, poussières et particules, uranium, plutonium, strontium, etc.);
4. peu d'impacts sur la santé du public;
5. peu d'impacts sur la faune et la flore;
6. peu d'impacts sur la biodiversité et les écosystèmes;
7. peu d'impacts sur les forêts;
8. peu d'impacts sur les cultures agricoles;
9. peu d'impacts sur les infrastructures publiques et privées.

L'évaluation monétaire des externalités résiduelles (ExternE; 1997-2003) associés aux centrales éoliennes a démontré que les valeurs monétaires typiques à considérer sont de l'ordre de 0,0013 à 0,0026 \$/kWh ce qui représente de 2 à 4 % du coût unitaire du kWh éolien. Cette plage de valeur est inférieure de plus d'un facteur 10 aux externalités environnementales et sociales associées aux centrales à gaz naturel à cycle combiné.

L'ACÉE soutient que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle pour répondre aux préoccupations de sécurité énergétique, de développement économique et régional, et de développement durable est parfaitement compatible avec l'objectif d'éviter la majeure partie des autres impacts environnementaux et sociaux associés à l'exploration, la production, et l'utilisation des autres sources d'énergie.

#### **6.4 SUPPORTER UN QUÉBEC CHEF DE FILE DANS LE NORD-EST DE L'AMÉRIQUE**

L'ACÉE est d'avis que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle permettra au Québec de continuer à se distinguer par l'importance des forces hydraulique et éolienne dans la production d'électricité par rapport à la majorité de la production électrique de source thermique dans la région du nord-est de l'Amérique.

Ainsi, à l'avenir, la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle pourrait supporter le Québec dans son rôle de chef de file pour relever le défi des changements climatiques. Grâce à son potentiel éolien majeur, le Québec peut à court, moyen et long terme, aider les provinces et les États limitrophes à faire face à leurs difficultés d'approvisionnement en électricité à partir d'une source d'énergie dont il est prouvé qu'elle est nettement moins

dommageable pour l'environnement. L'ACÉÉ évalue aussi que la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle est parfaitement compatible avec la «continentalisation» du marché de l'énergie et la mondialisation des questions environnementales.

## **6.5 RENFORCER LA PÉNÉTRATION DES SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES**

L'ACÉÉ suggère que l'énergie éolienne constitue un atout que le Québec devrait mettre en valeur à grande échelle pour renforcer la pénétration des énergies renouvelables dans son bilan énergétique. En effet, l'importance de la ressource éolienne disponible, la compétitivité et la décroissance du coût de production du kWh<sup>19</sup> éolien vis-à-vis des autres filières énergétiques dont les coûts sont en croissance, la rapidité de déploiement des centrales éoliennes, les retombées économiques importantes qui y sont associées, le large consensus social sur le développement de l'éolien au Québec ainsi que le caractère environnementalement bénin, et essentiellement réversible, de son développement militent aujourd'hui pour un développement accéléré de l'industrie éolienne au Québec. Ce développement accéléré de l'industrie éolienne permettrait d'ailleurs au Québec de poursuivre sa contribution à l'amélioration du bilan des GES et des autres émissions atmosphériques, quant à elles nocives pour la santé humaine et les écosystèmes, tant à l'échelle canadienne que continentale.

En accroissant significativement la pénétration de l'éolien dans son bilan énergétique le Québec renforcerait ainsi sa place de chef de file en Amérique du Nord en matière de faibles émissions de GES et de chef de file mondial en matière de production centralisée et équilibrée d'énergies renouvelables.

## **7 CONCLUSION**

La future stratégie énergétique du Québec devrait s'appuyer largement sur l'énergie éolienne. Grâce à cette source d'énergie disponible en abondance sur le territoire québécois, le Québec peut faire face aux grands enjeux énergétiques de notre temps. L'industrie éolienne est aussi prête à relever les défis d'assurer la sécurité énergétique du Québec, d'appuyer son développement économique et régional et d'y favoriser l'émergence d'un système énergétique durable. Finalement, le très large consensus populaire favorable à l'éolien est à même de constituer la pierre d'assise d'un large consensus politique au Québec autour de la mise en la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle.

---

<sup>19</sup> Coût en décroissance au taux annuel de 2,5% (estimé conservateur).

## 8 RECOMMANDATIONS

Pour concrétiser tout le potentiel de développement économique et social ainsi que les bénéfices environnementaux associés au développement éolien, l'ACÉE émet les recommandations suivantes :

1. L'ACÉE recommande que le Québec privilégie l'éolien comme source d'énergie pour desservir ses futurs besoins en énergie, et qu'à cette fin, le gouvernement du Québec s'engage dans la mise en valeur du potentiel éolien québécois à grande échelle;
2. L'ACÉE recommande que le Québec se fixe un objectif minimal de produire 7,5 % (13,5 TWh; 4 500 MW) de son électricité par énergie éolienne en 2012 et 10 % (18 TWh; 6 000 MW) en 2015;
3. L'ACÉE recommande que le Québec continue à supporter le développement de l'énergie éolienne en spécifiant la quantité d'énergie éolienne qu'Hydro-Québec doit acheter, tant et aussi longtemps que l'éolien n'est pas considéré à sa juste valeur technique, économique, environnementale et sociale;
4. L'ACÉE recommande que le Québec lance les appels d'offres suivants : 1 000 MW en 2005, 2006 et 2007, puis 600 MW en 2008, 500 MW en 2009 et à chaque année suivante. À partir de 2011, ces appels d'offres de 500 MW, à être installés à compter de 2016, permettront de maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande ou d'accroître la marge de manœuvre du Québec;
5. L'ACÉE recommande que le Québec ouvre l'ensemble du territoire québécois aux projets éoliens pour limiter au strict minimum, les coûts d'intégration et de raccordement.

## 9 RÉFÉRENCES

AIE, 2002 : Toward a sustainable energy future, Agence internationale de l'énergie et OCDE, 2002.

Aróstegui et al., 1997 : ExternE National Implementation, CIEMAT, Contract JOS3-CT95-0010, December 1997.

Berry et al., 1998 : Power Generation and the Environment – a UK Perspective, Volume 1, AEAT 3376, June 1998.

Denholm et Kulcinski, 2003 : Net Energy Balance and Greenhouse gas emissions from Renewable Energy Storage Systems, ECW Report Number 223-1.

DWIA, 2004 : Rapport Annuel de l'Association Danoise de l'Industrie Éolienne, Mars 2004.

EC, 2004 : Cartographie et Analyse du Gisement Éolien du Québec par le Système WEST, dossier R-3526-2004, Expertise pour le Regroupement pour la responsabilité sociale des entreprises (RRSE), Drs Robert Benoit et Wei Yu, Environnement Canada, Avril 2004.

Équiterre et Greenpeace, 2004 : Étude Quantitative Portant sur les Perceptions des Québécois envers les Approches à Privilégier pour Combler les Besoins Énergétiques, réalisée par Léger Marketing, Novembre 2004.

EWEAa, 2004 : Wind Power Economics, Wind Energy Costs – Investment factors, 2004. [http://www.ewea.org/documents/factsheet\\_economy2.pdf](http://www.ewea.org/documents/factsheet_economy2.pdf).

ExternE; 1997-2003 : ExternE, 1997-2003. Rapports méthodologiques et rapports d'évaluations des externalités du Danemark, Espagne, France, Allemagne, Grèce, Italie, Pays-Bas, Portugal et Royaume-Uni. Disponible aussi au : <http://externe.jrc.es/> en même temps que les tableaux synthèses par source et technologie énergétique.

Fortin, 2004 : La Sécurité et l'Avenir Énergétique du Québec : Le Développement Économique et Régional, Avis d'expert présenté au ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Novembre 2004.

TechnoCentre, 2004 : Étude de Marketing Auprès des Touristes de la Gaspésie afin de Connaître leurs Attitudes face à l'Installation d'Éoliennes, Rapport Final, Guay Marketing.

Hélimax, 2004 : Étude sur l'Évaluation du Potentiel Éolien, de son Prix de Revient et des Retombées Économiques Pouvant en Découler pour le Québec, Dossier No. R-3526-2004, Mai 2004.

HQP, 2004 : Demande d'Avis sur la Sécurité Énergétique des Québécois à l'Égard des Approvisionnements Électriques et la Contribution du Projet du Suroît (R-3526-2004),

Réponses D'Hydro-Québec Production à la Demande D'informations de la Régie de l'Énergie, Requête R-3526-2004 , 2004-02-18 HQP-1.

Krewitt et al., 1997 : ExternE National Implementation, IER, Contract JOS3-CT95-0010 et JOU2-CT-0604, December 1997.

Lafrance, 2004 : La Sécurité et l'Avenir Énergétique du Québec : La sécurité énergétique et la filière éolienne, Avis d'expert présenté au ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Novembre 2004.

LesAffaires, 2004 : La construction d'éoliennes à Rivière-du-Loup créera 300 emplois, 25 novembre 2004, Presse Canadienne.

McCulloch, Raynold et Laurie, 2000 : Life-Cycle Value Assessment of a Wind Turbine, Pembina Institute for Appropriate Development.

Meier, 2002 : Life-Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis, August 2003, UWFD-1181.

MRNFPQ, 2004a : Contexte, enjeux et questionnements : Le secteur énergétique au Québec, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004.

MRNFPQ, 2004b : Dans une perspective de développement durable, Le gouvernement du Québec prend des décisions pour améliorer la sécurité énergétique des Québécois, Québec, Communiqué de presse, le 5 juillet 2004, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/presse/communiques-detail.jsp?id=3115>.

Régie de l'Énergie, 2004 : Avis de la Régie de l'énergie sur la sécurité énergétique des Québécois à l'égard des approvisionnements électriques et la contribution du projet du Suroît (A-2004-01).

Schleisner et al., 1997 : ExternE National Implementation, the Technical University of Denmark, Contract JOS3-CT95-0010, December 1997.

Synova, 2004 : Final Report: A Study on Supply-Chain Capabilities in the Canadian Wind Power Industry, Prepared for Energy and Marine Branch, Industry Canada, Contract No. 5013137, Submitted by SYNOVA International Business Development, Milton, Ontario, October 2004.

Tech-Wise, 1999 : Life Cycle Assessment of Wind Turbines.

UCTE, 2004 : "Wind power in the UCTE interconnected system", NetWork of Experts on Wind Power, 25 November 2004.

Umweltkontor, 2003 : Jürgen Beigel, Windenergy: Technology - Markets and Business-Practice, FIMAI, Exhibition Center Norte, Sao Paulo, Brazil, October 31st, 2003.

Webster, 2004 : La Sécurité et l'Avenir Énergétique du Québec : Le Développement Durable, Avis d'expert présenté au ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Novembre 2004.

White et Kulcinski, 1998 : Net Energy Payback and CO<sub>2</sub> Emissions from Wind-Generated Electricity in the Midwest, UWFDM1092.