

Capacités de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie canadienne de l'énergie éolienne



On peut obtenir cette publication sur supports multiples, sur demande. Communiquer avec le Centre de diffusion de l'information dont les coordonnées suivent.

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires de cette publication, s'adresser au :

Centre de diffusion de l'information Direction générale des communications et du marketing Industrie Canada Bureau 268D, tour Ouest 235, rue Queen Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Téléphone : (613) 947-7466 Télécopieur : (613) 954-6436 Courriel : publications@ic.gc.ca

Cette publication est également offerte par voie électronique sur le Web (strategis.gc.ca/ier).

Autorisation de reproduction

À moins d'indication contraire, l'information contenue dans cette publication peut être reproduite, en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit, sans frais et sans autre permission d'Industrie Canada, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée afin d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, qu'Industrie Canada soit mentionné comme organisme source et que la reproduction ne soit présentée ni comme une version officielle ni comme une copie ayant été faite en collaboration avec Industrie Canada ou avec son consentement.

Pour obtenir l'autorisation de reproduire l'information contenue dans cette publication à des fins commerciales, faire parvenir un courriel à **copyright.droitdauteur@tpsgc.gc.ca**.

N.B. Dans cette publication, la forme masculine désigne tant les femmes que les hommes.

N° de catalogue Iu44-21/2005F ISBN 0-662-79468-0 54275F

Also available in English under the title A Study of Supply-Chain Capabilities in the Canadian Wind Power Industry

Préparé pour Industrie Canada par Helge Wittholz et David Pan de SYNOVA International Business Consulting.

Les opinions et déclarations contenues dans cette publication n'engagent que leur auteur et ne reflètent pas nécessairement la politique d'Industrie Canada ou celle du gouvernement du Canada.

Ni le gouvernement du Canada, ses ministres, agents, hauts fonctionnaires, employés et agents ni SYNOVA n'offrent aucune garantie ou indication, expresse ou implicite, à l'effet que l'utilisation d'information, d'appareils, de méthodes ou d'éléments semblables dont fait état le présent rapport ne puisse enfreindre ou transgresser des droits détenus par des intérêts privés, y compris les droits de propriété intellectuelle d'une quelconque partie, ni n'assument aucune responsabilité ou obligation découlant du présent rapport.

Remerciements

Industrie Canada, Ressources naturelles Canada et Environnement Canada ont fourni le financement et les ressources nécessaires à la préparation du présent rapport.

Table des matières

1.0 Résumé	6
2.0 Introduction et contexte	9
3.0 Industrie mondiale de la fabrication de gros aérogénérateurs	12
3.1 Développement de la technologie et des produits	12
3.2 Principaux fabricants mondiaux d'aérogénérateurs et de composants	21
3.3 Structure de la chaîne d'approvisionnement des parcs d'éoliennes connexion réseau	
4.0 Approvisionnement et service des gros aérogénérateurs au Canada	36
4.1 Approvisionnement	36
4.2 Fabrication des composants	37
4.3 Service	37
4.4 Initiatives récentes d'édification d'une base canadienne de fabrication gros aérogénérateurs	
5.0 Possibilités et obstacles pour les entreprises canadiennes	40
5.1 Expansion prévue de l'énergie éolienne au Canada et aux États-Unis	40
5.2 Obstacles techniques à surmonter par les entreprises canadiennes	43
5.3 Obstacles financiers à surmonter par les entreprises canadiennes	45
5.4 Composants et services clés recommandés pour l'approvisionneme canadien	
5.5 Débouchés à l'exportation pour les fournisseurs canadiens	49

5.6 Fournisseurs canadiens aptes à se faire une place dans l'industrie de la fabrication de gros aérogénérateurs50
6.0 Avantages et désavantages concurrentiels des entreprises canadiennes52
6.1 Base industrielle canadienne d'approvisionnement des gros aérogénérateurs52
6.2 Fabrication et service de composants d'éoliennes au Canada53
7.0 Résultats d'une enquête sur l'industrie54
7.1 Fabricants d'aérogénérateurs54
7.2 Fabricants de composants d'aérogénérateurs58
8.0 Leçons tirées de la réussite des fabricants d'aérogénérateurs en Espagne.63
9.0 Conclusions et initiatives proposées65
9.1 Conclusions65
9.2 Initiatives proposées66
Annexe 1 : Aérogénérateurs installés au Canada, par fabricant et par type70
Annexe 2 : Structure des coûts d'un parc d'éoliennes ordinaire de 30 MW sur 20 ans d'exploitation
Annexe 3 : Spécimen du questionnaire utilisé dans le cadre de l'étude74
Annexe 4 : Liste des entreprises incluses dans l'enquête
Annexe 5 : Fabricants d'aérogénérateurs et de composants au Danemark83
Annexe 6 : Modèles d'éoliennes de 2 à 3 MW fabriqués à l'étranger86

Acronymes et abréviations

ACÉÉ Association canadienne de l'énergie éolienne

DP Demande de propositions

GADA Génératrice asynchrone à double alimentation

GES Gaz à effet de serre

Î.-P.-É Île-du-Prince-Édouard

EPEE Programme Encouragement à la production d'énergie éolienne

ETP Équivalent temps plein

IP Initiateur de projet

kW kilowatt

kWh kilowattheure

MCT Masse de charge totale

MW mégawatt

NPER Normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable

OEM Équipementier, OEM

PARI Programme d'aide à la recherche industrielle

PPEREA Projet pilote d'élimination et de réduction des émissions et

d'apprentissage

RNCan Ressources naturelles Canada

TEEA Terrain d'essais éoliens de l'Atlantique

1.0 Résumé

Dans les grands parcs d'éoliennes en connexion réseau, les aérogénérateurs constituent jusqu'à 70 p. 100 de l'investissement total en capital, ce qui en fait l'élément le plus important de l'industrie de l'énergie éolienne. La valeur du marché mondial cumulatif des aérogénérateurs pour les cinq prochaines années se chiffrerait aux environs de 38 milliards de dollars US selon la société danoise BTM Consult ApS. Ce domaine lucratif a déjà attiré de grandes multinationales dont General Electric, Shell, Siemens et, dernièrement, Allianz, vers le commerce de l'énergie éolienne.

La technologie de l'aérogénérateur moderne a pris naissance au Danemark et elle progresse à grands pas depuis une vingtaine d'années, faisant de l'aérogénérateur un produit commercial à valeur éprouvée. L'énergie éolienne est ainsi devenue très concurrentielle en comparaison des autres sources conventionnelles d'énergie. Les aérogénérateurs courants d'aujourd'hui se caractérisent par la vitesse variable, le contrôle du pas de pale et les pales de rotor de grande dimension. En ce qui concerne la configuration de la chaîne dynamique, le marché offre des modèles à commande par engrenage et à entraînement direct. L'innovation technologique et les marchés étrangers ont mené à des progrès remarquables, dont la création d'aérogénérateurs multimégawatts, de pales de rotor de grande dimension et de générateurs de pointe et le développement de l'électronique de puissance. L'industrie des gros aérogénérateurs et de leurs composants repose sur des compétences spécialisées en ingénierie, fabrication, logistique, installation et entretien ainsi que sur des ressources financières solides.

Au Canada, l'exploitation de l'énergie éolienne prend graduellement de l'ampleur depuis trois ans et le secteur dispose aujourd'hui d'une puissance installée totale de 439 MW. Selon les prévisions, les initiatives des gouvernements fédéral et provinciaux, envisagées ou déjà mises en œuvre, pourraient mener d'ici 2012 à la production d'une puissance installée totale de 5 600 MW d'énergie éolienne, représentant un investissement de 8,4 milliards de dollars CAN. Pour l'heure, le Canada importe tous ses gros aérogénérateurs et tous leurs composants à l'exception des tours, ce qui fait perdre à l'économie nationale des possibilités considérables en matière de revenus, d'impôts et d'emplois. Cependant, le Canada dispose d'une assise industrielle solide, capable de fabriquer des aérogénérateurs et la plupart de leurs composants à condition de pouvoir acquérir le savoir-faire requis. Le pays possède déjà les compétences spécialisées nécessaires à la fabrication des pales de rotor, des tours d'éolienne, des ossatures de base et des inverseurs. En outre, un certain nombre d'entreprises canadiennes essaient de se tailler une place dans le commerce du montage des aérogénérateurs en obtenant des accords de licence ou en lançant des coentreprises avec des fabricants européens d'aérogénérateurs.

Proposant une analyse de la structure de la chaîne d'approvisionnement dans le cycle de vie d'un parc d'éoliennes, la présente étude cerne plusieurs domaines dans lesquels les entreprises canadiennes pourraient éventuellement offrir des services. En ce qui touche le montage des aérogénérateurs et la fabrication de leurs composants, le présent rapport

décrit les obstacles techniques et financiers auxquels se heurteront les fournisseurs canadiens potentiels.

Les auteurs des présentes recommandent aux entreprises canadiennes de se concentrer sur la fabrication des pales de rotor, des tours, des structures de base, des couvertures de nacelle et des moyeux d'hélice, des arbres d'entraînement flexibles, des freins à disque, des supports antivibratoires, des inverseurs, des armoires de commandes et des alternateurs. Les entreprises canadiennes devront recourir à des transferts de technologie en provenance d'Europe ou à des coentreprises avec les grands fabricants européens pour acquérir les compétences spécialisées voulues et rattraper leur retard sur les courbes d'apprentissage.

Les entreprises canadiennes de services pourraient trouver des débouchés commerciaux substantiels dans les domaines de l'entretien, de la réparation, de la révision et de l'amélioration du rendement des aérogénérateurs et de leurs composants (p. ex. boîtes d'engrenage, alternateurs, installations hydrauliques et pales de rotor). Il est fortement à recommander que les entreprises canadiennes capables et compétentes en ces matières fassent équipe avec les meilleurs fournisseurs de services en Europe, afin d'acquérir le savoir-faire voulu

L'étude a donné lieu à des entrevues auprès de 31 entreprises étrangères et canadiennes. Les commentaires reçus ont permis de mieux comprendre l'offre d'aérogénérateurs et de composants dans le marché mondial et le marché canadien. En bref, les entrevues ont montré que les chefs de file mondiaux en fabrication d'aérogénérateurs pourraient se laisser convaincre d'investir dans des installations de production au Canada à condition que le pays ait un marché de l'énergie éolienne assez important, soutenu par une politique gouvernementale stable et durable en faveur de l'énergie renouvelable. Cependant, ces grands fournisseurs étrangers d'aérogénérateurs ne feront qu'investir des fonds et ne transféreront pas leurs technologies à des entreprises canadiennes.

Les débouchés qui pourraient s'offrir aux entreprises canadiennes dans le montage des aérogénérateurs et la fabrication de leurs composants reposent sur l'établissement de partenariats avec des petites ou moyennes entreprises européennes de même nature, soit par l'obtention de licences, soit au moyen de coentreprises. Le succès des entreprises canadiennes passe par un appui soutenu du gouvernement, tant à l'échelle fédérale que provinciale. Il faudrait mettre en place un programme bien financé et de longue durée propre à soutenir :

- l'établissement d'usines de montage de nacelles d'aérogénérateur et de fabrication de pales de rotor, par les grands fournisseurs mondiaux d'aérogénérateurs;
- le transfert de technologie, le prototypage et la commercialisation de produits par des entreprises canadiennes;
- l'achat de biens d'équipement par des entreprises canadiennes;
- la formation de techniciens en fabrication d'aérogénérateurs et de leurs composants et en service et réparation des aérogénérateurs;
- des travaux de R-D sur quelques composants clés d'aérogénérateur, p. ex. les pales de rotor et l'électronique de puissance;

• la modernisation des installations canadiennes d'essais des aérogénérateurs au Terrain d'essais éoliens de l'Atlantique (TEEA) et à l'Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.-É.).

Suite à l'établissement réussi d'une industrie de l'énergie éolienne en Espagne, le Canada a la possibilité de tirer avantage de la croissance rapide de ce secteur.

Si les industries et les gouvernements du Canada acceptent de se lancer dans un effort concerté, la part canadienne dans le marché de la fabrication, de l'installation et du service des aérogénérateurs pourrait s'élever à 1,8 milliard de dollars annuellement d'ici 2012, le pays bénéficiant alors de 13 000 emplois de haut calibre

2.0 Introduction et contexte

L'énergie éolienne est une ressource remarquable et puissante. Elle constitue une source énergétique sûre, propre, abondante et presque illimitée. L'industrie éolienne offre la meilleure occasion possible d'amorcer la transition à une économie mondiale reposant sur l'énergie renouvelable. L'industrie mondiale de l'énergie éolienne a de nouveau battu son propre record en 2003, avec 8 344 MW de nouvelle puissance installée, l'équivalent d'un investissement de 9 milliards de dollars US. La quantité cumulative mondiale de productibilité éolienne a atteint les 40 000 MW, ce qui représentait environ 0,5 p. 100 de la demande mondiale d'électricité à la fin de 2003. Près de 50 pays partout sur la planète contribuent maintenant à la production de cette énergie éolienne globale, et le nombre total de personnes à l'emploi du secteur est estimé aux environs de 100 000.

L'énergie éolienne est un secteur en croissance au Canada et de nombreuses propositions d'expansion industrielle pointent à l'horizon. À l'heure actuelle, le Canada dispose d'à peu près 439 MW de puissance installée d'énergie éolienne. On cherche de plus en plus à se familiariser avec les moyens à prendre pour que cette industrie en pleine évolution contribue à l'essor économique du pays et ouvre des débouchés dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

Posés dans de vastes parcs d'éoliennes en connexion réseau, les aérogénérateurs représentent à eux seuls de 65 à 70 p. 100 environ de l'investissement total, le reste étant réparti entre les coûts des terrains, de l'interconnexion, des fondations, de la construction de routes et des services afférents à l'installation et au développement. Selon la société danoise BTM Consult ApS, la valeur du marché cumulatif des aérogénérateurs au cours des cinq prochaines années se chiffre aux environs de 38 milliards de dollars US, ce qui donne une idée de l'importance de la fabrication des aérogénérateurs au sein de la chaîne de valeur du secteur de l'énergie éolienne. Malheureusement, le Canada n'a encore aucun fabricant de gros aérogénérateurs. Tous les composants de turbine sont importés, sauf les tours. Le seul manufacturier de pales de rotor au pays s'est retiré des affaires au début de 2004, faute de commandes. Tous les gros aérogénérateurs installés au Canada sont d'importation, de sorte que des pays étrangers bénéficient de la plus grande partie des revenus, des impôts et des emplois associés à l'énergie éolienne.

La présente étude a pour but de cerner les occasions à saisir pour accroître le plus possible la part du Canada sur ce marché, sans pour autant contribuer à une augmentation du coût de l'électricité tirée de l'énergie éolienne, ainsi que pour stimuler la fabrication de gros aérogénérateurs et l'offre de services à l'industrie. Elle vise donc précisément :

- à déterminer les capacités manufacturières actuelles et potentielles au Canada;
- à formuler des suggestions quant aux mesures à prendre pour accroître les investissements dans la fabrication;
- à préciser la répartition régionale des débouchés et à inventorier les marchés canadiens potentiels et tout nouveaux qui sont bien placés pour répondre aux besoins des principaux marchés canadiens et américains.

L'étude présentée ici est le fruit du travail de la société SYNOVA International Business Development, de Milton (Ontario). Elle a été réalisée à la demande de la Direction générale de l'énergie et de la marine, à Industrie Canada, dans le but de servir les intérêts généraux des intervenants canadiens de l'industrie de l'énergie éolienne. Le contenu est basé sur celui d'une étude antérieure intitulée *Manufacturing and Service Opportunities for Canadian Companies in Large Turbines*, sur les débouchés dans la fabrication et les services pour les entreprises canadiennes de fabrication de grosses turbines, que la SYNOVA International Business Development a réalisée en septembre 2002 pour le Centre de la technologie de l'énergie de CANMET, du Secteur de l'énergie du ministère des Ressources naturelles du Canada (RNCan), à Ottawa.

Dans cette étude antérieure, SYNOVA a examiné 17 composants et sous-systèmes d'aérogénérateurs ainsi que la situation des grands industriels de ce secteur dans le monde. Dans le cadre de cette étude, cinq composants (pales de rotor, tours, ossatures de base, supports antivibratoires et alternateurs) ont été retenus en vue de recherches futures en fonction des critères suivants : peu d'obstacles à l'accès au marché, volume des produits et technologies déjà offertes ou faciles à transférer au Canada. En outre, l'étude de 2002 recommandait un plan d'action initial pour les organismes gouvernementaux canadiens, l'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ) et les entreprises manufacturières du pays. Elle insistait aussi sur le fait qu'il était *essentiel d'assurer la mise en marché en temps opportun*, puisque ce processus allait se dérouler au cours des deux ou trois prochaines années, après quoi il serait plus difficile et coûteux d'accèder au marché. Il faut absolument que les fournisseurs canadiens comprennent l'industrie, la technologie et le marché s'ils veulent arriver à créer des produits et des services concurrentiels et à les commercialiser au bon moment.

Le Canada dispose de ressources éoliennes parmi les plus abondantes au monde. Le gouvernement fédéral et plusieurs instances provinciales ont lancé des programmes de première importance, comme le programme Encouragement à la production d'énergie éolienne (EPEE) ainsi que, dans le cas des provinces, des demandes de propositions (DP) et des normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable (NPER) en vue de nouveaux projets d'énergie éolienne pour favoriser la croissance de ce secteur. Tous les projets continuent cependant de dépendre de fournisseurs européens et américains pour l'approvisionnement en turbines et en composants. Les liens sont rares entre les investisseurs-initiateurs de projets et les industries manufacturières locales. Les entreprises canadiennes de fabrication doivent s'adresser à des fournisseurs étrangers pour décrocher des commandes de fabrication de quelques composants tels que les tours. Qui plus est, les tentatives locales antérieures dans le montage des turbines n'ont pas laissé de modèle viable, comme le montre l'exemple de deux sociétés fondées et vite fermées au Québec, et il faudra compter sur des programmes à long terme.

Nonobstant cette situation difficile, plusieurs manufacturiers canadiens travaillent à des projets visant la fabrication de turbines au Canada dans le cadre de transferts de technologie ou de coentreprises avec des fournisseurs européens d'aérogénérateurs. Si

ces projets se réalisent, les fournisseurs canadiens de composants y joueront un rôle important.

La présente étude examine aussi les défis auxquels se heurte l'industrie manufacturière canadienne et elle formule des recommandations capitales en vue d'un effort national coordonné pour accroître la production canadienne de composants clés de gros aérogénérateurs et édifier un solide noyau de fournisseurs qui alimenteront des usines viables de construction d'aérogénérateurs et de montage de turbines au Canada.

3.0 Industrie mondiale de la fabrication de gros aérogénérateurs

3.1 Développement de la technologie et des produits

Évolution de la technologie des gros aérogénérateurs

L'exploitation commerciale moderne de l'énergie éolienne a commencé au début des années 1980, dans la foulée des crises pétrolières de la décennie précédente, alors que les questions de sécurité et de diversité de l'approvisionnement en énergie et de pérennité des ressources ont fait naître un vif intérêt à l'endroit des sources d'énergie renouvelables.

Bien des progrès et des améliorations ont eu lieu depuis le début de la commercialisation de la technologie des aérogénérateurs à l'aube des années 1980, mais l'architecture de base de la turbine ordinaire est restée la même. Le « concept danois » courant des éoliennes à hélices à trois pales face au vent, à commande par engrenage, à vitesse fixe et en connexion réseau a fait ses preuves comme réussite technique et commerciale novatrice dans le domaine des gros aérogénérateurs. Le Danemark peut revendiquer en toute justice le premier rang mondial parmi les grands fournisseurs d'aérogénérateurs, grâce notamment à ses groupes Vestas et Bonus (tout juste acquis par Siemens) qui dominent les marchés mondiaux depuis 20 ans.

Le rotor à trois pales est ordinairement doté d'un roulement avant séparé et d'un arbre à faible vitesse, relié à une boîte d'engrenage donnant une vitesse de rotation qui convient à un alternateur. La figure 1 montre la configuration d'une nacelle typique suivant le modèle de la turbine danoise de conception moderne :



Figure 1. Configuration de la nacelle d'une turbine danoise de conception moderne. Reproduit avec la permission de Vestas American Wind Technology, Inc.

Au tout début, le marché était dominé par la turbine danoise à trois pales, à vitesse fixe et à régulation par décrochage aérodynamique et donnant des niveaux de puissance nominale de moins de 200 kW. Les pales étaient presque toujours faites de résine de polyester-verre.

Grâce à la diminution des coûts et aux progrès techniques qui ont accru la fiabilité de l'électronique de puissance, les machines à vitesse variable gagnent du terrain parce qu'elles apportent au réseau une puissance d'entraînement de qualité supérieure. En conséquence, la vitesse variable est de plus en plus utilisée dans les grosses turbines, surtout celles de classe MW. Parmi les autres caractéristiques couramment adoptées dans les grosses turbines (plus de 1 MW), il faut mentionner le réglage de pas, qui a remplacé la régulation courante par décrochage aérodynamique dans la plupart des turbines de classe MW. Le réglage de pas varie continuellement sous contrôle actif pour régler la puissance lorsque le vent souffle à des vitesses d'utilisation élevées. Cette façon de procéder donne de bons résultats à des vitesses variables, produit une puissance d'entraînement de meilleure qualité que la régulation par décrochage aérodynamique et réduit les charges éoliennes auxquelles la turbine est exposée.

Depuis 2003, l'attention se concentre sur la technologie des éoliennes produisant autour et plus de 1,5 MW de puissance nominale. Les turbines commerciales les plus grosses ont une puissance de 5 MW et des rotors de plus de 100 m de diamètre. Les pales sont le plus souvent à base de résine époxyde et, dans celles de grande dimension, les semelles de longeron sont de plus en plus faites de fibre de carbone.

Le concept danois courant à chaîne dynamique commandée par engrenage est celui qu'ont adopté la majorité des grands fournisseurs mondiaux de turbines, et il continue de dominer le marché, mais les turbines à entraînement direct (sans engrenage) ont fait des percées remarquables. La société allemande Enercon, qui exploite 6 800 turbines à entraînement direct, a prouvé que les turbines sans engrenage étaient aussi concurrentielles que les turbines danoises courantes à boîte d'engrenage dans la chaîne dynamique. Le tableau 1 montre l'évolution de la technologie courante des aérogénérateurs depuis 25 ans :

	Début des années 1980 (conception danoise originale)	de ann	but es ées 90	ann	des ées 90	De 2	000 à	2004
Régulation par	$\sqrt{}$							
décrochage								
aérodynamique								
Décrochage actif								
Vitesse fixe	$\sqrt{}$							
Vitesse variable								
limitée								
Boîte d'engrenage	$\sqrt{}$							
Réglage de pas								$\sqrt{}$
Vitesse variable						V	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$
Entraînement direct								
« Multibrid »								

Tableau 1. Évolution de la technologie courante des aérogénérateurs de 1980 à 2004.

Principes directeurs de la conception des gros aérogénérateurs modernes

La technologie moderne de l'énergie éolienne ne cesse de se perfectionner depuis 20 ans et elle a permis de régler la plupart des problèmes initiaux des aérogénérateurs. Quelques exemples :

- *Fiabilité*: Les grands parcs d'éoliennes modernes, dotés de turbines éprouvées de taille moyenne, offrent régulièrement une disponibilité opérationnelle de 98 p. 100.
- *Bruit* : On a réduit de beaucoup les bruits mécaniques et aérodynamiques des gros aérogénérateurs.
- Rendement: Les gros aérogénérateurs ont un rendement élevé et moins de 10 p. 100 de perte thermique dans leurs systèmes de transmission. Le rendement aérodynamique s'est graduellement amélioré et le coefficient de performance est passé de 0,44 à environ 0,5 là où la technologie est la plus avancée. La limite théorique, appelée facteur Bets, est de 0,59.
- *Incidences sur les réseaux*: Le recours à la vitesse variable et le renforcement des liaisons a amélioré considérablement la stabilité des réseaux des parcs d'éoliennes modernes.
- Potentiel de contribution à l'approvisionnement énergétique d'un pays : L'énergie éolienne est apte à contribuer grandement à l'approvisionnement énergétique national, comme le montre déjà son taux de pénétration du marché au Danemark (16 p. 100) ainsi qu'en Allemagne et en Espagne (de 5 à 6 p. 100).

La technologie des gros aérogénérateurs a évolué et fait ses preuves à l'échelle commerciale. Les grands fabricants mondiaux de turbines et de composants continuent de

perfectionner les grosses turbines afin de relever de nouveaux défis dans les domaines suivants :

- configurations spéciales pour les vents forts et faibles;
- compatibilité avec les réseaux;
- performance acoustique;
- rendement aérodynamique;
- esthétique visuelle;
- réduction du poids et du coût;
- surveillance d'état;
- prévision des vents et de la production d'énergie.

Le tout nouveau marché des éoliennes extra-côtières est à la base des tous derniers progrès réalisés en technologie des aérogénérateurs. Ces réalisations portent principalement sur la recherche des moyens les plus efficaces de fabrication de très grosses turbines. En voici les points importants :

- nacelles à faible masse;
- technologie des rotors de grande dimension et ingénierie des composites de pointe;
- conception des fondations, de l'érection et de l'entretien des éoliennes en mer;
- méthodes d'installation et d'entretien;
- connexion réseau de grands parcs d'éoliennes.

Tendances de la technologie des gros aérogénérateurs modernes

Accroissement de la taille des aérogénérateurs

La tendance la plus marquée dans le marché est celle de l'accroissement constant de la taille des aérogénérateurs commerciaux. La taille moyenne des turbines commercialisées dans le monde en 2003 était de 1 211 kW (en hausse par rapport à 1 087 kW en 2002 et à 915 kW en 2001).

Les aérogénérateurs commerciaux n'ont pas cessé de gagner en dimension depuis les modèles de 20 à 60 kW, le diamètre des rotors variant de 20 à 40 m au début des années 1980 en Californie, jusqu'aux tous derniers appareils multi-MW à rotor de plus 100 m de diamètre. La plus grosse machine jamais construite est le prototype E-112 à entraînement direct de la société Enercon, de 4,5 MW. La société REpower, d'Allemagne, érigera plus tard cette année un prototype de 5 MW à rotor de 117 m de diamètre.

À ce jour, les turbines de 1,5 à 1,8 MW demeurent les produits courants dans tous les marchés importants de l'énergie éolienne. Les gammes de produits qui réussissent le mieux dans le marché sont :

- la série 1,5 s/sl de la société GE Energy (plus de 2 500 installées de par le monde);
- la série E-66 de 1,5 à 2 MW à entraînement direct de Enercon (plus de 2 000);
- la série MD70/77 de 1,5 MW de REpower (plus de 500).

Une turbine de 2 à 3 MW est cependant en train d'envahir le marché des produits de plus de 1,5 MW. Environ deux douzaines de modèles de ces nouvelles turbines en sont à la production en série ou aux derniers stades de la vérification des prototypes chez les principaux fournisseurs mondiaux, dont les sociétés Vestas, NEG Micon, GE Energy, Nordex, Gamesa, Bonus, REpower et Enercon. Aux dires d'un de ces grands de l'énergie éolienne, le marché évolue si rapidement que 70 p. 100 des nouvelles commandes reçues en 2004 visent les séries d'aérogénérateurs de 2,3 MW et de 2,5 MW. L'annexe 6 ciaprès présente un tableau des nouveaux modèles de turbines de 2 à 3 MW.

Parallèlement à la taille des machines, les marchés et les entreprises de fabrication prennent aussi de l'expansion. L'Allemagne a le marché le plus vaste au monde et la plus grande industrie de fabrication d'aérogénérateurs. On y retrouve non seulement des fournisseurs allemands de turbines et de composants, comme les sociétés Enercon, REpower, Nordex, DeWind, Fuhrländer, Siemens, Weier Elektromotorenwerk et Abeking & Rasmussen Winergy (anciennement Flender), mais aussi des fournisseurs étrangers de turbines tels que Vestas et GE Energy, exploitant Allemagne d'importantes installations de fabrication et d'ingénierie.

Le marché espagnol connaît une croissance notable depuis quelques années sous l'effet conjugué de l'octroi de licences, du transfert de technologie, de la fabrication indépendante (Vestas et Gamesa), de l'expansion d'entreprises établies de fabrication de turbines (Ecotècnia et MADE), de l'industrie espagnole de l'aérospatiale (MTorres) et d'initiateurs-fabricants intégrés (EHN).

Développement technologique des aérogénérateurs à vitesse variable

La génératrice d'électricité et l'électronique de puissance sont deux des éléments les plus importants de l'aérogénérateur moderne. Les caractéristiques techniques de la génératrice et des convertisseurs de puissance déterminent la façon dont un aérogénérateur convertit l'énergie éolienne en puissance utile électrique et l'efficacité de la connexion aérogénérateur-réseau.

Maintenant que l'éolien constitue un pourcentage croissant de l'approvisionnement énergétique vers les réseaux centraux des pays où il est bien établi, la stabilité des réseaux et la prévention des pannes de courant totales deviennent des motifs de préoccupation de première importance pour l'industrie de l'énergie éolienne. Il y a peu, le géant de la distribution de l'électricité en Allemagne, la société E.ON Netz GmbH, annonçait l'imposition de nouvelles exigences obligatoires en matière de réseau pour les exploitants en énergie éolienne. L'une des exigences clés était la suivante : en cas de problème majeur de réseau, il faut non seulement que les turbines restent connectées, mais aussi qu'elles remplissent une fonction d'aide et, par conséquent, que les aérogénérateurs aient la capacité intégrée d'opérer comme de petites centrales électriques. La difficulté de se conformer aux exigences relatives à la stabilité des réseaux a poussé certains des grands fournisseurs mondiaux d'aérogénérateurs à mettre au point leurs propres solutions d'avant-garde, surtout en ce qui a trait aux génératrices et à l'électronique de puissance.

Le fonctionnement à vitesse variable offre des avantages particuliers par rapport à la vitesse fixe couramment utilisée dans les turbines des années 1990, qui donnaient une puissance nominale inférieure à 1 000 kW. Parmi ces avantages, mentionnons la possibilité de soutenir activement le réseau, d'exploiter des aérogénérateurs et des parcs d'éoliennes comme des centrales à puissance-crête et de faire baisser le coût de la construction des fondations des installations en mer.

Jusqu'à maintenant, la génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) demeure la plus répandue dans le marché des aérogénérateurs de 1,5 MW et plus à vitesse variable et à commande par engrenage, parce que la GADA offre presque tous les avantages des commandes à gamme complète de vitesse variable, sauf qu'environ un tiers seulement de la puissance passe par le convertisseur électronique. Le convertisseur à GADA est à peu près un tiers plus petit et fait baisser les coûts d'un tiers en comparaison des variateurs de vitesse courants à convertisseur de plein régime. La GADA offre donc un avantage substantiel au niveau des coûts par rapport à la conversion de la puissance totale.

Depuis peu, quelques-uns des grands fournisseurs d'aérogénérateurs, notamment GE Energy et MADE ont adopté l'alternateur synchrone pour leurs grosses turbines de 2 MW et plus, même s'il fait monter les coûts du système. Cette tendance à adopter les nouvelles exigences en matière de stabilité des réseaux d'aérogénérateurs signifie qu'il faut disposer de la puissance intégrée nécessaire au soutien du réseau et demeurer en connexion réseau en cas de baisse de tension. En comparaison de la GADA, qui fait passer de 25 à 30 p. 100 seulement de la puissance par un convertisseur de fréquence et montre des comportements plus problématiques de réseau, les alternateurs synchrones font passer la totalité de la puissance par le convertisseur et sont exempts de ces problèmes inhérents de réseau.

Les alternateurs synchrones, depuis longtemps communs aux aérogénérateurs à vitesse variable et à entraînement direct, sont commercialisés par les sociétés Enercon (Allemagne), Lagerwey (Hollande), Zephyros (Hollande), Jeumont Industrie (France), MTorres (Espagne) et tout dernièrement par Vensys (Allemagne).

Il convient de faire remarquer que la turbine Z-72 de 2 MW à entraînement direct vendue par Zephyros est équipée d'un générateur à aimant permanent de 4 000 volts fabriqué par la société ABB, laquelle commercialise toute la gamme des générateurs, alternateurs et convertisseurs pour les aérogénérateurs à commande par engrenage et sans engrenage. ABB a des installations de production au Canada. En outre, le géant industriel allemand Siemens offre divers produits nécessaires à l'industrie de l'énergie éolienne. Siemens a notamment fait équipe avec la norvégienne Scanwind, de Trondheim, pour construire le prototype d'une turbine de 3 MW à vitesse variable et à commande de pas, munie d'un générateur Siemens à aimant permanent et à entraînement direct. Siemens, qui a des installations de production réparties dans diverses régions du Canada, cherche depuis longtemps à vendre ses générateurs à entraînement direct aux fabricants d'aérogénérateurs.

Le brevet américain sur l'électronique de système pour les aérogénérateurs à vitesse variable, d'abord accordé à l'ancienne Kenetech Windpower en 1993 et appartenant maintenant à GE Energy, a empêché les grands fournisseurs européens d'aérogénérateurs de vendre des turbines à vitesse variable sur un marché américain en expansion. Voulant éviter d'être mêlés à une querelle de brevet, certains fournisseurs européens, comme Gamesa et Fuhrländer, ont adapté des modèles de turbine à vitesse semi-fixe dotée de générateurs à contrôle de courant rotorique, en vue de les commercialiser aux États-Unis. C'est de chez Weier, le fabricant allemand de générateurs, que provient cette technologie. Le groupe Vestas a poussé plus loin le développement de la même technologie, qu'il a ensuite rebaptisée OptiSlip® pour le marché américain. Tout récemment, les sociétés GE Energy et Enercon ont réglé leur long conflit de brevet relatif à la technologie de vitesse variable « en concluant un accord de licence croisé mondial et de longue durée ».

Développement des pales de rotor

Les pales de rotor sont aussi un composant des plus importants et de haute technologie des aérogénérateurs. La conception et la fabrication des pales de rotor demandent des connaissances et des compétences spécialisées dans plusieurs domaines : aérodynamique, matériaux de pointe, contrôle de la qualité, procédés modernes de fabrication et mise à l'essai. Aujourd'hui, des pales de rotor de 100 m et plus de diamètre continuent d'être conçues, fabriquées et mises à l'essai tout spécialement pour répondre aux besoins de la construction de gros aérogénérateurs. Le marché indépendant de l'approvisionnement en pales est dominé par la société danoise LM Glasfiber.

Vu l'importance des pales de rotor dans le système entier de production d'aérogénérateurs, plusieurs grands fabricants mondiaux de turbines se sont dotés de leurs propres capacités de fabrication de pales afin d'assurer leur propre approvisionnement et de contrôler les technologies de conception des composants critiques. Les sociétés Vestas, NEG Micon, Enercon, Bonus, Nordex, Gamesa et GE Energy ont toutes leurs propres installations de production de pales. La production interne de pales de rotor est un élément important de la stratégie verticale intégrée mise en œuvre par ces équipementiers, mais elle crée des difficultés pour les fabricants indépendants de pales de rotor comme les sociétés LM et NOI. NOI, une entreprise d'Allemagne, s'est récemment retrouvée insolvable.

La plupart des pales de rotor sont faites de polyester-verre ou de verre-époxy. La fabrication des pales est partiellement automatisée, mais elle n'en reste pas moins à forte intensité de main-d'œuvre en raison de ses procédés issus de l'industrie de la construction des bateaux. Des méthodes nouvelles sont cependant en voie de mise en pratique, par exemple la société Enercon est en train d'adopter la technique de production par moulage sous vide, Bonus a recours au verre-époxy avec transfert de résine alors que la NEG Micon produit des pales en bois-époxy dans son usine de Grande-Bretagne.

En raison des exigences exceptionnellement élevées concernant la qualité spécifiée, la résistance spécifique, la longévité à la fatigue et la réduction de la masse des grandes

pales, tous les fabricants bien établis sont passés du polyester à la résine époxyde infusée et cette matière est maintenant à la base de leurs systèmes de production.

Côté aérodynamique, la société allemande Enercon a lancé une nouvelle génération de pales de rotor affichant une finesse aérodynamique (Cp) de 56 p. 100, soit 6 p. 100 de plus que le Cp moyen actuel. Elle affirme que sa toute nouvelle pale améliore le flux d'air autour de la nacelle et permet ainsi de saisir plus d'énergie et d'atténuer la sensibilité aux turbulences.

Systèmes hybrides

Les problèmes de boîte d'engrenage sont un casse-tête de longue date pour les fabricants d'aérogénérateurs à transmission courante par engrenage. L'entretien et la remise en état des boîtes d'engrenage imposent des surcroîts de coûts aux exploitants de parcs d'éoliennes. Les turbines à entraînement direct, par contre, permettent l'économie du prix de la boîte d'engrenage, réduisent les pertes dans la chaîne dynamique et font baisser les coûts d'entretien. Il faut noter cependant que les turbines à entraînement, par exemple les génératrices synchrones, sont beaucoup plus grosses. La largeur du diamètre, surtout, fait que les turbines à entraînement direct ont une masse de charge totale (MCT) beaucoup plus importante. La MCT lourde et volumineuse des turbines à entraînement direct rend très difficile l'installation et le transport de la nacelle.

Les turbines à configuration « hybride » ont une boîte d'engrenage mono-étape (ratio d'environ 6:1) dans la transmission et activent un générateur multipolaire semi-rapide. Le but visé est non seulement d'éviter la complexité d'une boîte d'engrenage multi-étapes, mais aussi de réduire la masse du système et d'obtenir une nacelle plus efficiente et plus compacte par rapport à celle des turbines à entraînement direct.

La société d'experts-conseils allemande Aerodyn a été la première à concevoir la configuration hybride, qu'elle a appelée « Multibrid ». L'entreprise finlandaise WinWind Oy s'est portée acquéreur de la technologie « Multibrid » pour les turbines de 1 MW de puissance maximale et, depuis 2001, elle s'en est servi pour produire neuf turbines hybrides WWD-1 de 1,1 MW. La turbine WWD-1 a un rotor de 56 m de diamètre et contient un engrenage planétaire mono-étape (ratio de 5,7:1) couplé à un générateur multipolaire à aimant permanent et à basse vitesse de rotation (de 40 à 146 T/M). L'entreprise affirme que la haute fiabilité et le haut rendement énergétique de la technologie « Multibrid » fait tout le succès de ses turbines WWD-1 de 1 MW. La WinWind est actuellement à mettre au point la WWD-3, un prototype hybride de 3 MW à rotor de 90 m. D'un point de vue technique, le système hybride est une solution intermédiaire entre la chaîne dynamique de turbine à haute vitesse et la chaîne dynamique à entraînement direct.

Technologie des éoliennes extra-côtières

La technologie des éoliennes extra-côtières est voie de se développer en Europe, principalement en raison du manque de sites terrestres convenant à des parcs d'éoliennes.

Les coûts d'installation et de service sont considérablement plus élevés en mer qu'à terre. À la fin de 2003, les parcs d'éoliennes extra-côtiers ne comptaient que 529 MW de puissance installée, soit une toute petite part de la puissance mondiale totale d'énergie éolienne, mais l'énergie tirée des sites extra-côtiers est promise à une croissance remarquable, surtout en Europe. Le marché potentiel de l'énergie éolienne extra-côtière est le principal moteur du développement de la technologie des grosses turbines.

Depuis l'installation de la première turbine extra-côtière (Bonus, 450 kW) au Danemark en 1991, quatre grands fournisseurs de turbines ont rallié ce marché, à savoir les sociétés Vestas, Bonus, NEG Micon et GE Energy. Depuis quatre ans, on a installé des turbines GE de 3,6 MW et de 1,5 MW; Bonus de 2,3 MW; Vestas de 2 et 3 MW; et NEG Micon de 2 MW. Les turbines commercialisées qui se prêtent aux opérations extra-côtières sont de 2 MW et plus, à vitesse plus élevée au bout de la pale, et la nacelle contient du matériel de manutention intégré, par exemple des grues de levage.

L'Amérique du Nord ne manque certainement pas de sites excellents pour des éoliennes extra-côtières, mais il faudra probablement attendre jusqu'à 2010 avant le lancement de projets de grande envergure dans ce domaine. Au Canada, le lac Érié, avec ses eaux peu profondes et ses rives densément peuplées, pourrait être un site excellent pour le premier de ces projets, qui répondrait à des besoins certains en énergie propre. La côte Est pourrait aussi offrir des sites intéressants, surtout parce que les nouveaux parcs d'éoliennes ouvriraient des débouchés aux entreprises canadiennes voisines qui fabriquent des pales et des tours.

Pour que l'industrie arrive à fournir un approvisionnement en électricité peu coûteux et fiable, les fournisseurs des parcs d'éoliennes extra-côtiers doivent régler des problèmes de logistique touchant la fabrication, le transport, l'érection et l'entretien d'aérogénérateurs de plusieurs MW posés en mer. Dans les parcs d'éoliennes extra-côtiers d'envergure commerciale, la logistique fera intervenir des installations portuaires intégrées de montage et des barges spéciales destinées aux travaux d'installation. Lorsqu'il faut des pales de rotor de plus de 50 m de longueur, il est fort souhaitable d'avoir un accès direct à la mer depuis l'usine de fabrication. Certains manufacturiers aménagent des hélisurfaces sur la nacelle des aérogénérateurs afin d'en faciliter l'accès aux ingénieurs chargés de l'entretien.

Bien que les parcs d'éoliennes en mer offrent des vitesses de vent fort supérieures et des capacités plus importantes de production d'énergie, les coûts plus élevés d'installation et d'entretien constituent le défi ultime et forcent les fournisseurs et les entrepreneurs à trouver les solutions optimales de concepts et de matériel pour les fondations, la connexion réseau, la construction des turbines, la fiabilité et l'entretien.

Dans le cadre d'une étude de faisabilité exécutée par la Commission de l'Union européenne, on a calculé qu'un parc d'éoliennes extra-côtier moderne et de grande envergure pourrait arriver à produire de l'énergie électrique à un prix de 850 euros le kW, même en ajoutant 10 p. 100 au coût de l'aérogénérateur pour tenir compte des besoins particuliers de sécurité, d'entretien et d'accès propres à la situation en mer.

3.2 Principaux fabricants mondiaux d'aérogénérateurs et de composants

Fabricants de gros aérogénérateurs

En 2003, les huit plus grands fabricants d'aérogénérateurs au monde ont assuré l'approvisionnement d'environ 89 p. 100 du marché mondial. Parallèlement, plusieurs petits et moyens fournisseurs européens ont continué de se faire une place dans quelques marchés régionaux au moyen de coentreprises ou de transferts de technologie.

L'industrie de la fabrication d'aérogénérateurs se caractérise par la consolidation de grands fournisseurs dans le groupe de tête, la diversification de l'approvisionnement en produits par les innovateurs en technologie et la fabrication à bon marché dans des marchés émergents.

À la suite de l'analyse des fournisseurs actuels de turbines et de composants, les entrepreneurs canadiens trouveront la place qui leur convient dans les « chaînes d'approvisionnement » futures de la fabrication des gros aérogénérateurs.

Vestas Wind Systems A/S (Danemark)

Le groupe Vestas, qui comprend l'ancienne NEG Micon, est le plus gros fabricant d'aérogénérateurs au monde avec des installations dans plus d'une quarantaine de pays sur six continents. Sa part de marché combinée était de 32 p. 100 en 2003 et ses revenus de 2004 sont estimés à 2,6 milliards d'euros. Les principales activités du groupe Vestas sont la conception, la fabrication, la commercialisation, la vente et l'entretien de gros aérogénérateurs. Vestas n'est pas initiateur, ni financier ni propriétaire de parcs d'éoliennes, mais il agit comme expert-conseil en la matière. Le groupe offre aujourd'hui des turbines à puissance de 660 kW à 4,2 MW installées sur terre et en mer. Cette entreprise à intégration verticale produit à l'interne la plupart des composants essentiels et le montage de ses aérogénérateurs dans ses usines situées au Danemark, en Allemagne, en Espagne, en Italie, en Inde et en Écosse. De plus, le groupe Vestas a annoncé l'ouverture prochaine d'une usine d'assemblage et de fabrication de pales en Australie. Les composants achetés par Vestas proviennent principalement de gros fournisseurs de bonne réputation à l'échelle internationale. Le groupe s'est donné comme politique d'avoir toujours deux fournisseurs réguliers ou plus pour chaque composant.

Le groupe Vestas fait de très bonnes affaires dans le marché canadien. Des aérogénérateurs Vestas de 660 kW à 3 MW sont installés au Québec, en Ontario, en Alberta, en Saskatchewan, au Yukon et à l'Île-du-Prince-Édouard, produisant une puissance totale d'environ 290 MW. Compte tenu de la croissance remarquable que connaît depuis peu son secteur de l'énergie éolienne, le Canada offre au groupe des

possibilités intéressantes de mise sur pied d'usines de production pour répondre aux besoins du marché nord-américain.

GE Energy (États-Unis)

En 2003, avec ses 1 503 MW de puissance installée partout dans le monde, la société GE Energy s'est hissée au deuxième rang mondial des fournisseurs de gros aérogénérateurs, deux ans seulement après avoir acquis les biens de fabrication de l'ancienne Enron Wind ainsi que les technologies et les produits de deux pionniers de l'énergie éolienne, la Zond Systems Inc. (États-Unis) et Tacke Windtechnik GmbH and Co. KG (Allemagne). GE Energy fabrique des turbines de 1,5 MW à 3,6 MW et des pales de rotor dans ses usines américaines, et elle s'approvisionne aussi en pales auprès d'autres fabricants en Allemagne (Aberking und Rasmussen), au Brésil (Tecsis), aux États-Unis (LM et MFG) et au Danemark (LM).

Il faut souligner que la turbine 1,5s/sl (1,5 MW) de GE Energy est l'un des produits les plus répandus de l'industrie de l'énergie éolienne. Plus de 2 500 ont été installées partout dans le monde depuis l'érection du premier prototype TW1.5 MW par Tacke Windtechnik GmbH il y a huit ans. Les activités commerciales de GE Energy reposeront presque entièrement sur sa turbine 1,5 s/sl jusqu'à ce que soit menée à bien la mise au point de sa nouvelle série de produits GE 2.X (2,3, 2,5 et 2,7 MW) et de sa turbine GE 3,6 MW d'application extra-côtière.

GE Energy détient le brevet de l'électronique de système de l'aérogénérateur à vitesse variable, lequel appartenait originalement à la Kenetech Windpower, et ce brevet lui a permis de fermer l'entrée du marché américain à la plupart des fabricants européens d'aérogénérateurs à vitesse variable. L'allemande Enercon vient de régler le conflit de brevet avec GE Energy. Dans ses toutes dernières réalisations en électronique de puissance, GE Energy a lancé un système d'alimentation continue à basse tension (*Low Voltage Ride-Through* ou LVRT) qui permettra à ses nouvelles turbines de répondre à des normes de transmission réseau semblables à celles exigées pour les générateurs d'énergie thermique. Cette année, GE Energy a commencé à vendre ses turbines de 1,5 MW au Canada et décroché le contrat d'approvisionnement du premier projet d'énergie éolienne de 990 MW au Québec.

Enercon GmbH (Allemagne)

La société Enercon est au troisième rang mondial de tous les fabricants d'aérogénérateurs et au premier rang pour les turbines à vitesse variable et à entraînement direct, des produits dont la puissance nominale unitaire va de 300 kW à 4,5 MW. Depuis sa fondation en 1984, Enercon fabrique des turbines haute technologie à trois pales, à entraînement direct et à vitesse variable et elle en a installé plus de 6 900, partout dans le monde, qui ont une puissance cumulée de plus de 6 000 MW. Enercon a des usines de production en Allemagne, en Suède, au Brésil, en Inde et en Turquie. Dans tout le secteur, c'est elle qui fabrique à l'interne le plus fort pourcentage de ses composants.

Enercon a déjà installé trois turbines E-112 (4,5 MW), les plus gros aérogénérateurs de la planète.

Il y a une turbine Enercon E-40 (600 kW) en exploitation en Alberta depuis 2002 et la société songe à développer bientôt le marché canadien.

Gamesa Eólica (Espagne)

La société Gamesa Eólica est le principal fournisseur d'aérogénérateurs en Espagne et le quatrième plus grand au monde. Fondée dans le cadre d'une coentreprise avec le groupe Vestas dans les années 1990, cette société a accru l'envergure de ses propres capacités de fabrication, conception et mise au point d'aérogénérateurs et de pales de rotor. À l'heure actuelle, elle a 15 installations manufacturières et offre une gamme de produits d'une puissance allant de 660 kW à 2 MW. En plus de l'Espagne, Gamesa Eólica vend ses aérogénérateurs aux États-Unis, en Italie, en France, au Japon, en Chine et en Amérique latine.

Gamesa Eólica fait partie du groupe espagnol Gamesa, qui possède également le constructeur de parcs d'éoliennes Gamesa Energia, l'entreprise de service d'aérogénérateurs Gamesa Servicios et l'avionneur Gamesa Aeronautica. Elle collabore souvent avec ses sociétés sœurs à la réalisation de projets clés en main, y compris la création et l'entretien de parcs d'éoliennes. En 2003, Gamesa Eólica a acheté une autre société espagnole de fabrication d'aérogénérateurs, MADE Energias Renovables, qui appartenait jusque-là à l'entreprise de services publics Endesa. Le groupe détient collectivement 15 p. 100 du marché mondial et un remarquable potentiel de croissance en raison de l'immense projet de parcs d'éoliennes en cours de réalisation d'Endesa.

Le 23 septembre 2004, le groupe Gamesa a annoncé qu'il allait installer son siège social nord-américain et son bureau de développement de la côte Est à Philadelphie. Gamesa prévoit aussi construire une usine de fabrication de turbines en Pennsylvanie. Le groupe a des projets d'énergie éolienne de 2 000 MW au total en cours de réalisation aux États-Unis, dont un de 600 MW faisant l'objet d'un contrat récemment signé avec l'État de Pennsylvanie.

Bonus Energy A/S (Danemark, vient d'être racheté par Siemens)

L'un des pionniers de l'aérogénérateur au Danemark, la société Bonus Energy en a installé plus de 5 500 de par le monde depuis 1979. Les turbines Bonus sont réputées de fiabilité et d'efficience remarquables. La société peut s'enorgueillir d'antécédents impressionnants, d'une situation financière solide et d'une stratégie globale sage. Elle fabrique ses propres pales de rotor.

Bonus est l'un des quelques manufacturiers de gros aérogénérateurs qui s'en tiennent à leurs technologies éprouvées; dans son cas, il s'agit de sa turbine à deux vitesses et à son contrôle de débit à décrochage actif (CombiStall®). Depuis peu au nombre des principaux fournisseurs des projets de parc d'éoliennes en mer au Danemark, cette société a installé

en 2003 10 turbines de 2,3 MW dans le cadre du projet de Samsø et 72 de 2,2 MW dans celui de Nysted.

Bonus n'a encore jamais vendu de turbines au Canada.

REpower Systems AG (Allemagne)

La société REpower a été fondée en 2001 par cinq petites sociétés allemandes, à savoir : pro+pro Energiesysteme GmbH & Co. KG, Jacobs Energie GmbH, Denker & Wulf AG, BWU-Brandenburgische und Umwelttechnologien GmbH et BWU-Anlagenfertigungservice GmbH. Son siège social est à Hambourg. La société a un personnel d'environ 490 employés et elle opère à l'échelle internationale par le biais de ses filiales ou de coentreprises en Grèce, en France, en Italie, en Espagne, en Australie, au Canada et au Royaume-Uni. Sa croissance est parmi les plus rapides de l'industrie mondiale de fabrication d'aérogénérateurs; ses ventes sont passées de 50 millions d'euros à peine en 1999 à 300 millions d'euros en 2003.

REpower offre des turbines de 600 kW à 2 MW et, cette année, elle prévoit réaliser un prototype de 5 MW pour le marché des éoliennes extra-côtières. Sa turbine MD70/77 de 1,5 MW à commande par engrenage et à vitesse variable est l'un des produits les plus populaires dans le marché : plus de 760 de ces turbines ont été érigées partout dans le monde par cette société même et par ses détenteurs de permis. Ses tout derniers produits sont les turbines à haut rendement de 2 MW, la MM70 et la MM82.

REpower est une entreprise à intégration verticale à faible échelle, qui fabrique des aérogénérateurs dont elle achète la plupart des composants à l'externe. Elle accorde aussi des licences d'exploitation et ses produits sont ainsi vendus par l'entremise d'autres sociétés en Allemagne, en France, au Japon et en Chine. La stratégie de REpower en matière d'expansion internationale consiste à entrer dans un nouveau marché avec un partenaire local solide, auquel elle s'allie soit en coentreprise soit par l'octroi de licences.

REpower a déjà une coentreprise au Canada, REpower Wind Corp., un consortium canadien dont le siège social est à Sudbury (Ontario).

Nordex AG (Allemagne)

La société Nordex AG, une société allemande cotée en bourse, est l'un des chefs de file mondiaux de la fabrication de gros aérogénérateurs. Ses produits étant destinés à 60 p. 100 à l'exportation, Nordex est un fournisseur dynamique sur les marchés mondiaux de l'énergie éolienne. Elle compte environ 700 employés, a des bureaux et des filiales dans 17 pays et ses revenus de l'exercice 2003-2004 se chiffrent à 250 millions d'euros.

Les turbines vendues par Nordex vont de la N43/600, une machine de conception courante à régulation par décrochage aérodynamique, à la N80 (2,5 MW), l'une des plus grosses au monde de classe MW. En septembre 2004, la société avait déjà installé

environ 2 475 de ses aérogénérateurs partout dans le monde. Süwind, un autre fabricant allemand d'aérogénérateurs, fait partie du groupe Nordex AG.

Depuis deux ans, Nordex connaît certains problèmes opérationnels, dont des pertes considérables et des radiations massives d'actifs liées à ses dépenses de développement et de stocks et à d'autres dépenses en immobilisations. Elle met actuellement à exécution un vaste plan de restructuration.

Au Canada, Nordex a vendu 20 de ses aérogénérateurs de 1,3 MW en Alberta en 2001.

Ecotècnia S.C.C.L (Espagne)

La société Ecotècnia est une pionnière de l'énergie éolienne en Espagne, ayant fait son entrée dans ce marché dès 1981. À l'heure actuelle, elle conçoit et fabrique toute une gamme d'aérogénérateurs d'une puissance allant de 640 kW à 1,67 MW. Elle a trois usines de production en Espagne et donne une puissance annuelle de 500 MW. Elle compte environ 260 employés et participe aussi à l'exécution de projets clés en main.

Ecotècnia est renommée pour son concept modulaire de chaîne dynamique d'aérogénérateur. Ses turbines sont conçues en fonction de la topographie montagneuse de l'Espagne. Ses produits jouissent d'une excellente réputation depuis l'installation de ses tout premiers aérogénérateurs de 225 kW au début des années 1990. Ecotècnia vient de mettre au point des turbines de 1,67 MW à vitesse variable et à rotor de 74 ou de 80 m de diamètre. Son concept modulaire original simplifie la logistique du transport en terrain accidenté.

En 1999, Ecotècnia s'est jointe à Mondragon Corporacion Cooperativa (MCC), un groupe dont les revenus se chiffrent à 6 milliards d'euros et qui emploie 53 000 personnes partout dans le monde. Elle poursuit le gros de ses activités en Espagne, mais elle a déjà installé des aérogénérateurs au Japon, en Inde et à Cuba. Après avoir pris contact avec le gouvernement du Québec, en 2000, Ecotècnia a décidé de ne pas se lancer sur le trop jeune marché canadien.

Petites et moyennes entreprises de fabrication et d'ingénierie des aérogénérateurs

Fuhrländer GmbH (Allemagne)

La société Fuhrländer est une petite à moyenne entreprise allemande de fabrication d'aérogénérateurs. Depuis quelques années, elle s'efforce d'accroître sa part du vaste marché allemand des aérogénérateurs terrestres et de certains marchés étrangers, dont ceux du Japon et de la Chine. Fuhrländer a acheté les opérations d'énergie éolienne à terre d'un autre fabricant allemand d'aérogénérateurs, Pfleiderer, au début de 2004, et s'est également jointe à cette même entreprise dans une coentreprise de fabrication et

d'entretien d'aérogénérateurs. Leur portefeuille combiné de produits comprend des turbines à puissance nominale de 30 kW, 100 kW, 250 kW, 800 kW, 1 MW et 1,5 MW. Fuhrländer fabrique aussi la turbine MD70/77 de 1,5 MW en vertu d'une licence accordée par la société REpower. Elle est en train de créer le prototype d'une nouvelle turbine de la gamme 2,3 à 2,7 MW en vertu d'une licence accordée à Wind to Energy GmbH.

Fuhrländer a un partenaire au Canada, la société AAER Systems Inc., dont le siège social est à Montréal et qui a rendue publique son intention de fabriquer les turbines de Fuhrländer au Québec et de les commercialiser dans le marché nord-américain.

Lagerwey the Windmaster (Pays-Bas)

La société Lagerwey est une pionnière de l'aérogénérateur à entraînement direct. Dès ses débuts, elle a lancé avec succès une turbine de 250 kW et plus tard, dans les années 1990, une autre turbine de 750 kW. Ces dernières années, elle s'est entièrement restructurée après avoir connu de graves problèmes financiers. Son produit principal est la série de turbines LW 50/52/58, de 750 kW, à entraînement direct, à contrôle actif du pas de pale et à commande de vitesse variable

Ces dernières années également, Lagerwey a collaboré à la mise au point d'une nouvelle turbine de 2 MW à entraînement direct, de concert avec les sociétés ABB et LM. Le premier prototype opérationnel de cet aérogénérateur de 2 MW, le LW72-Zephyros, a vu le jour en mars 2002. Le projet a mené à la création d'une nouvelle société, la Zephyros, sise à Amsterdam, qui se concentre sur la construction et la commercialisation de la turbine de 2 MW Z-72 dans les marchés de l'aérogénérateur sur terre et en mer.

La société Lagerwey a monté une turbine LW52 au Parc des expositions de Toronto en 2002, et une autre en Alberta en 2003. Elle a également octroyé une licence visant sa turbine de 750 kW à la société Americas Wind Energy (AWE), dont le siège social est à Toronto.

Jeumont Industrie SA (France)

L'entreprise française Jeumont Industrie a créé un aérogénérateur de 750 kW à entraînement direct, le J48/J53, dont un petit nombre seulement a été construit depuis 1999. Elle travaille maintenant à la mise au point de la série J70/77 de turbines de 1,5 à 2 MW, à entraînement direct, à vitesse variable et à contrôle du pas de pale.

Au Canada, un consortium de sociétés du Québec a acheté de Jeumont une licence visant son modèle J48 de 750 kW, en 2001. Le consortium a effectué le montage de trois turbines J48 et les a installées dans la région de Gaspé, au Québec, en 2003.

WinWind Oy (Finlande)

La société WinWind Oy est une petite entreprise finlandaise de fabrication de turbines qui a acquis les droits de construction et de commercialisation d'aérogénérateurs de type « Multibrid », exploitant une technologie conçue par la société allemande Aerodyne Energiesysteme. Elle a déjà vendu neuf turbines WWD-1 de 1 MW et en a plusieurs en voie de construction pour des projets réalisés au Portugal, en France et en Finlande.

WinWind Oy prévoit installer le prototype d'une turbine « Multibrid » WWD-3 de 3 MW avant la fin de 2004.

Vensys Energiesysteme GmbH (Allemagne)

Vensys est une petite société allemande de conception et de fabrication d'aérogénérateurs. Elle a déjà réalisé une turbine novatrice de 1,2 MW à entraînement direct et à générateur à aimant permanent, Vensys 62. Un prototype de la V62 a été érigé en mai 2002, mais la machine a pris feu et entièrement brûlé en novembre 2003. Le prototype a depuis été remplacé et il est réputé bien fonctionner. De plus, Vensys est en voie de créer une turbine plus grosse, de 2 MW, aussi à entraînement direct.

Vensys a conclu un accord de licence visant son modèle V62 avec le plus grand fabricant chinois d'aérogénérateurs, Gold Wind Science & Technology Corp.

Wind to Energy (W2E) GmbH (Allemagne)

La société W2E est une nouvelle entreprise de conception d'aérogénérateurs fondée en mai 2003 par un groupe d'ingénieurs autrefois à l'emploi de la société Nordex. Le constructeur de pylônes Seeba Energiesysteme et le fabricant de turbines Fuhrländer sont partenaires avec participation de W2E et ont financé les travaux de base de l'élaboration de la nouvelle turbine.

W2E a créé une nouvelle gamme de turbines à vitesse variable et à contrôle du pas de pale, la série W90, dont la puissance nominale de 2,3 MW, 2,5 MW ou 2,7 MW convient à différents régimes de vent. Pour l'heure, W2E a octroyé le permis de vente de ses turbines W90 à Fuhrländer GmbH, et les deux entreprises travaillent conjointement à la construction du premier prototype de 2,5 MW, qui devrait être achevé d'ici la fin de 2004.

Principaux fabricants mondiaux de composants d'aérogénérateurs

Pales de rotor

La société **LM Glasfiber A/S** est le plus grand fabricant indépendant au monde de pales de rotor; elle en a vendu plus 67 000 depuis 1978. Elle a des installations de production au Danemark, en Allemagne, en Espagne, aux États-Unis, en Inde, en Hollande et en Chine et elle compte environ 3 100 employés. LM compte à son actif le plus grand

nombre d'employés spécialisés en génie et la plus grande capacité de toute l'industrie pour la production de pales de rotor, la fabrication maison de moules, le développement de processus et la mise à l'essai des pales de rotor. Les pales offertes par la société vont de 13,5 m de long, pour les turbines de 250 kW, à 44,8 m, pour les turbines de 3 MW. LM produit actuellement des pales de 54 m et de 61,5 m de longueur en stratifié à fibre de verre-résine et en résine époxy renforcée de fibre de carbone pour la prochaine génération de turbines de plusieurs MW, notamment le prototype de 5 MW qu'elle met au point avec REpower.

La société **NOI Rotortechnik** est une entreprise allemande de fabrication de pales de rotor. Elle a des installations de production en Allemagne, en Hollande et en Écosse.

La société allemande **Euros GmbH** conçoit et fabrique des pales de rotor pour les aérogénérateurs de 600 kW à 5 MW. Elle a concédé la licence de fabrication des pales EU51 à Bolwell Corp., de l'Ontario (750 kW). Ces pales sont utilisées sur les aérogénérateurs Lagerwey de 750 kW et Zond de 750 kW.

Le groupe **Umoe** est une société norvégienne dotée d'une vaste expérience de la fabrication de grosses structures porteuses en matériaux composites de pointe. Il s'est lancé dans la fabrication de pales de rotor d'aérogénérateurs et peut produire des pales de 70 à 77 m de diamètre par un procédé d'injection sous vide de verre-époxy. Il a livré son premier jeu de pales UM70 à REpower en février 2003 et a entamé, la même année, la production de la série.

Boîtes d'engrenage

La société belge **Hansen Transmission** est un chef de file mondial de la conception et de la fabrication de groupes d'engrenages de haute qualité pour aérogénérateurs. Elle investit actuellement dans de nouvelles installations de production pour répondre à la demande croissante du marché. L'assureur allemand Allianz s'est récemment porté acquéreur de Hansen Transmission au prix de 132 millions d'euros. Les nouvelles installations de Hansen, inaugurées en mars 2004, ont une capacité de production de 2 000 MW au coût de 101 millions d'euros. Ses ventes de 2003 se sont chiffrées à 127 millions d'euros.

La société **Metso Drives Technology**, en Finlande, est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de technologie, de systèmes et de matériel pour l'industrie de l'énergie éolienne. Elle vend sa boîte d'engrenage à un bon nombre de fabricants d'aérogénérateurs, dont la finlandaise WinWind Oy, qui l'utilise dans ses turbines de la gamme WWD « Multibrid ».

La société **Winergy AG** (anciennement Flender) est l'un des plus gros fabricants de boîtes d'engrenage au monde. Ses produits se retrouvent dans plus de 20 000 aérogénérateurs sur toute la planète. Son usine de montage d'avant-garde offre une surface de fabrication de 40 000 m² et des installations d'essais capables de tester des unités électriques d'une puissance pouvant aller jusqu'à 8 000 kW.

Alternateurs et composants électroniques

Les sociétés **Weier Elektromotrenwerk GmbH** et **Winergy AG**, d'Allemagne, et **Elin EGB Motoren GmbH**, d'Autriche, sont les premiers fournisseurs mondiaux d'alternateurs et de systèmes de transmission de puissance pour aérogénérateurs.

Les conglomérats industriels multinationaux **ABB** et **Siemens** sont deux grands fabricants d'alternateurs et d'autres composants électroniques (p. ex. transformateurs et sous-stations) destinés à l'industrie de l'énergie éolienne.

Tours, moyeux et ossatures de base

Les sociétés danoises **Bladt Industry A/S**, **DS SM A/S** et **Erik Roug A/S** sont trois grands fabricants de tours et elles approvisionnent les principaux constructeurs d'aérogénérateurs au Danemark et en Allemagne. Les tours fabriquées par la **DS SM A/S** et par la **Erik Roug A/S** sont utilisées, avec des turbines Bonus, dans les projets extracôtiers de Nysted et de Middelgrunden.

Les allemandes KGW Schweriner Maschinenbau GmbH, Omnical Borsig Energy GmbH et Pfleiderer AG sont d'importants fabricants de tours.

La société **Valmont Wind Energy**, un élément du groupe américain Valmont Industries Inc. et fabricant de tours d'éoliennes, a lancé un concept original incluant un mécanisme de montage automatisé.

Autres composants

La société allemande **FAG OEM und Handel AG** fabrique des roulements pour les systèmes de l'arbre principal, de pas de pale et d'orientation des aérogénérateurs. Elle a des installations de fabrication à Stratford, en Ontario.

La société **MITA Teknik A/S**, du Danemark, est un des grands fournisseurs de systèmes de commande et de contrôle d'aérogénérateurs.

La société **KK Electronic A/S**, aussi du Danemark, fabrique des systèmes de commandes pour les grands manufacturiers d'aérogénérateurs.

L'espagnole **Manufacturas Eléctricas SA** fabrique du matériel de haute et moyenne tension pour les usines d'énergie éolienne.

La société suédoise **SKF** est le plus gros fabricant mondial de roulements, y compris ceux destinés aux aérogénérateurs. Elle a une filiale de vente et de service au Canada.

Les aciéries **Skoda Steel**, en République tchèque, sont l'un des plus gros fournisseurs d'arbre principal d'aérogénérateur au monde, avec une part totale de marché d'environ 30 à 40 p. 100. Elles gèrent le cycle complet de fabrication, y compris la production de l'acier et sa mise en lingots, le forgeage, l'usinage de finition et le traitement de surface. Elles produisent aussi des plaques de fondation et des moyeux pour les aérogénérateurs.

La société danoise **Windcast A/S** est l'un des grands fournisseurs mondiaux de matériaux de moulage de performance et de qualité élevées pour les aérogénérateurs. Elle est passée aux mains du groupe Vestas en 2003.

Le groupe **Svendborg Brakes** du Danemark fabrique des systèmes de frein à disque hydraulique, des commandes électroniques de frein et des servocommandes hydrauliques. Il a des installations manufacturières au Danemark, en Allemagne et en Espagne. Les freins destinés aux aérogénérateurs et au matériel d'exploitation minière sont deux gammes de produits de première importance pour Svendborg.

3.3 Structure de la chaîne d'approvisionnement des parcs d'éoliennes en connexion réseau

Voici les étapes de l'approvisionnement d'un parc d'éoliennes pendant tout son cycle de vie :

- planification : un à trois ans;
- construction : un an;
- production d'énergie : de 20 à 25 ans.

L'annexe 2 présente la structure de coûts d'un parc d'éoliennes ordinaire de 30 MW.

Planification

Normalement, l'étape de la planification d'un parc d'éoliennes est dirigée par un initiateur de projet, qui accomplit lui-même certaines tâches et confie les autres en sous-traitance à des cabinets d'experts-conseils et d'ingénierie. Une fois que l'exécution du projet arrive au point où il devient possible de négocier un accord d'achat d'énergie, l'initiateur vend le projet ou conclut un partenariat avec une société de financement.

La planification se compose habituellement des activités suivantes :

Activité	Exécutant
Choix de l'emplacement du parc d'éoliennes	Initiateur du projet (IP)
Évaluation de la ressource éolienne – Installation/enlèvement de la tour météorologique avec capteurs et	IP ou expert-conseil
enregistreur de données (1 à 2 ans)	IP ou sous-traitant

Activité	Exécutant
Extraction des données.	IP
Préparation de l'évaluation à long terme des vents (étude des vents à	
l'aide des données extraites et de données de référence)	IP ou expert-conseil
Préparation de l'étude de faisabilité	IP ou expert-conseil
Consultation de la collectivité	IP
 Obtention de tous les coûts et calendrier d'exécution pour les étapes 	
de construction et de production	IP ou expert-conseil
Analyse du sol pour les fondations	Expert-conseil
Conception technique du parc d'éoliennes	IP ou expert-conseil
- Conception de l'infrastructure (p. ex. chemins d'accès)	Cabinet d'ingénierie
Conception de l'interconnexion	Cabinet d'ingénierie
Obtention du permis de production d'énergie	IP ou expert-conseil
Obtention du permis de construction	IP ou expert-conseil
Diligence raisonnable	Cabinet d'ingénierie
- Arpentage	Cab. d'arpentage/de génie
- Tâches juridiques : achat d'énergie, interconnexion, bail foncier,	
financement, marchés d'approvisionnement	Cab. d'avocats spécialisés
- Certification et ventes « Green Tag »	_
- Certification d'Éco-Logo et d'AEC	IP, org. de certification
- Demande d'EPEE et passation du contrat	IP
Demande d'évaluation environnementale (provinciale et fédérale)	IP ou expert-conseil
Étude des incidences sur les oiseaux et la nature	Biologiste

Tableau 2. Activités et responsabilités à l'étape de la planification

Construction

Le marché des gros aérogénérateurs (600 kW ou plus) se compose de deux segments distincts : les grands parcs d'éoliennes (10 MW ou plus) et les petits parcs d'éoliennes (10 MW ou moins).

Grand parcs d'éoliennes (10 MW ou plus)

Les acheteurs d'énergie, le plus souvent de grandes entreprises de services publics et des établissements financiers, préfèrent conclure des accords clés en main avec l'une ou l'autre des grandes sociétés mentionnées dans le tableau 3 qui dominent le marché mondial de la fabrication de générateurs :

Société manufacturière	Part du marché mondial (2003)
Vestas (Danemark)	21,7 %

GE Wind (États-Unis)	18 %
Enercon (Allemagne)	14,6 %
Gamesa (Espagne)	11,5 %
NEG Micon (Danemark)	10,2 %
Bonus (Danemark)	6,6 %
REpower (Allemagne)	3,5 %
Nordex (Allemagne)	2,9 %

Source: Bjoern Johnsen, «Wo die neuen Maerkte sind», *Sun Media*, numéro 5, mai 2004, page 4, http://www.erneuerbareenergien.de/0504/s_31-34.pdf

Tableau 3. Sociétés manufacturières mondiales de turbines

En 2004, les groupes Vestas et NEG Micon ont fusionné sous la bannière Vestas. Il y a tout lieu de croire que la consolidation de l'industrie se poursuivra au fur et à mesure de la construction de parcs d'éoliennes de plus en plus grands à terre et en mer. Éventuellement, il ne survivra que quelques géants capables d'exploits de financement, de génie et de fabrication dans un contexte mondialisé.

Le marché nord-américain offre une marge de manœuvre encore plus étroite en raison d'un brevet, visant les turbines à vitesse variable dotées d'inverseurs, détenu au départ par la société Kenetech et appartenant maintenant à GE Energy. À l'heure actuelle, seule la société Enercon a réglé son conflit de brevet avec GE Energy et peut ainsi pénétrer dans le marché nord-américain.

En conséquence, lorsqu'il s'agit de projets de grande envergure, les sociétés Vestas, GE Energy et Gamesa sont les principaux soumissionnaires. Il faut s'attendre cependant à ce que la société Enercon fasse sous peu son entrée dans le marché nord-américain. Les autres entreprises devront régler le conflit de brevet avec GE Energy ou trouver des solutions techniques leur permettant d'éviter la contestation.

Voilà pourquoi la présente étude concentre son propos sur les quatre gros fabricants de turbines de classe MW qui domineront fort probablement, du moins à court terme, les marchés canadien et américain de l'énergie éolienne.

Les activités et les responsabilités propres à l'étape de la construction des grands parcs d'éoliennes sont précisées au tableau 4 :

Activité	Exécutant
Gestion du projet de construction	Propriétaires du projet
Construction d'un parc d'éoliennes clés en main	Fabricant d'aérogénérateurs

Approvisionnements nécessaires aux aérogénérateurs : - Nacelle	Fabricant d'aérogénérateurs Fabricant ou sous-traitant
Infrastructure, chemins d'accès, excavation, tranchées, enfouissement des câbles, fondations	Sous-traitant local
Transport	Sous-traitant Sous-traitant
Grutage	Sous-traitant Sous-traitant
Installation et mise en service	Fabricant d'aérogénérateurs
Interconnexion, transformateur élévateur à chaque aérogénérateur	Société d'aérogénérateurs ou de génie électrique
Système de captation. - Sous-station. - Interconnexion à la station de transfert. - Ligne de poteaux. - Assurance (dispositions).	Société de génie électrique Société de génie électrique Société de génie électrique Société de génie électrique Fabricant d'aérogénérateurs

Tableau 4. Activités et responsabilités à l'étape de la construction des grands parcs d'éoliennes

Petits parcs d'éoliennes (10 MW ou moins)

Ce segment de marché est desservi par un certain nombre de petits et moyens fabricants d'aérogénérateurs. Les principales entreprises semblent axer leurs activités sur les turbines de classe MW destinées aux grands parcs d'éoliennes alors que les projets de moindre envergure, tels les parcs d'éoliennes communautaires, vont à des entreprises relativement plus petites offrant des turbines de 600 kW à 1 500 kW. Au Canada, les entreprises suivantes ont installé des turbines dans des parcs d'éoliennes relativement petits :

\Box	Jeumont (France, Québec)	750 kW
	Lagerwey / AWE (Hollande, Ontario)	750 kW
	Nordex (Allemagne)	1,2 MW, 1,5 MW
-	Turbowind (Belgique)	600 kW
	Tacke (Allemagne)	600 kW

Les autres entreprises ci-dessous sont connues comme étant intéressées par le marché canadien :

Fuhrländer/AAER (Allemagne, O	Québec) 1,5 MW
Vensys (Allemagne)	1,2 MW
Win Wind (Finlande)	1 MW
REpower (Allemagne)	750 kW, 1,5 MW, 2 MW
Suzlon (Inde)	950 kW, 1/1,25 MW
DeWind (Allemagne)	950 kW
Bonus (Danemark)	1,3 MW, 2/2,3 MW

En octobre 2004, il y avait au Canada 439 MW de puissance d'énergie éolienne installée. Le tableau 5 fait état de sa répartition par province :

Provinces	Puissance installée (MW)
Alberta	269
Québec	113
Saskatchewan	22
Ontario	15
Île-du-Prince-Édouard	14
Nouvelle-Écosse	5
Yukon	1
Total	439

Tableau 5. Puissance d'énergie éolienne installée au Canada, par province

Pour les petits parcs d'éoliennes, les marchés de construction sont généralement conclus directement par le propriétaire et normalement répartis en cinq volets, tel que précisé au tableau 6 :

Activité	Exécutant
Nacelle et pales de rotor	Fabricant d'aérogénérateurs
Tour fabriquée sur mesure	Fabricant de tours
Fondations fabriquées sur mesure	Entreprise de construction
Excavation des chemins d'accès	Entreprise de construction
Interconnexion (de la turbine au point de transfert, incluant la sous-station)	Société de génie électrique
Transport et grutage	Entreprise de transport et de grutage
Installation et mise en service	Fabricant d'aérogénérateurs ou sous-traitant
Assurance (dispositions)	Courtier en assurance

Tableau 6. Activités et responsabilités à l'étape de la construction des petits parcs d'éoliennes

Le fabricant de turbines est responsable de la conception de l'aérogénérateur dans son entier, depuis les fondations jusqu'aux pales de rotor, un peu comme cela se fait dans l'industrie de l'aérospatiale. Il conçoit le système intégré et le fait homologuer par un organisme national de certification tel que Risø au Danemark et Germanischer Lloyd en Allemagne.

Un certain nombre de grands fabricants de turbines sont verticalement intégrés et se chargent eux-mêmes de la conception et de la fabrication de composants critiques, comme les pales de rotor, les commandes et les tours. Dans le cas d'autres composants tels que les boîtes d'engrenage, les alternateurs et les couplements, l'entreprise de turbines en confie la conception détaillée et la certification à un manufacturier de composants auquel elle indique les charges à admettre et les spécifications.

Il est important que les fabricants canadiens potentiels sachent à qui, dans la chaîne d'approvisionnement, appartient la conception technique de tel ou tel composant et si leur client éventuel est le fabricant de turbines, le fournisseur de sous-systèmes ou le propriétaire du parc d'éoliennes.

Production d'énergie

Lorsqu'il s'agit de grands parcs d'éoliennes, des contrats d'entretien dit « sans tracas », d'une période pouvant aller jusqu'à cinq ans, sont ordinairement octroyés aux fabricants d'aérogénérateurs. Ensuite, l'entretien peut être confié à des entreprises indépendantes spécialisées dans la réparation des pales, le remplacement de l'huile, la maintenance périodique et la réparation des composants. Ces entreprises ont habituellement des frais généraux moins lourds que ceux des fabricants d'aérogénérateurs et se concentrent uniquement sur le service. Certains propriétaires de parcs d'éoliennes se dotent de leur propre section d'entretien et de service. La réparation de composants tels que les pales, les alternateurs et les boîtes d'engrenage offre d'intéressantes possibilités aux entreprises canadiennes, car leurs coûts d'expédition relativement plus faibles et leurs délais d'exécution plus courts sont fort attrayants pour les propriétaires d'aérogénérateurs en Amérique du Nord. Voici quelles sont les activités et les responsabilités normales à l'étape de la production :

Activité	Exécutant
Gestion de l'exploitation	Propriétaire
Entretien périodique et occasionnel - les 2 à 5 premières années - après ces 2 à 5 années	Fabricant d'aérogénérateurs Fabricant d'aérogénérateurs ou entreprises indépendantes de services
Inspection, entretien et remise en état des principaux composants – pales de rotor, boîtes d'engrenage, alternateurs	Équipementier ou entreprise indépendante de services
Remise à niveau pour : - accroître la production - régler les problèmes	Sociétés d'ingénierie ou de services Fabricant d'aérogénérateurs

Tableau 7. Activités et responsabilités à l'étape de la production

4.0 Approvisionnement et service des gros aérogénérateurs au Canada

4.1 Approvisionnement

C'est en 1995 à Tiverton (Ontario) qu'un premier gros aérogénérateur (600 kW) a été installé au Canada, avec l'appui financier de Ressources naturelles Canada (RNCan). La turbine avait fait l'objet de modifications afin de l'adapter à l'exploitation par temps froid. Quatre ans plus tard, au Québec, c'était la mise en place des deux premiers parcs d'éoliennes, composés au total de 136 turbines de 750 kW. Le montage des turbines s'était effectué au Québec de même que la fabrication partielle des tours. Le groupe Vestas a commencé à dominer le marché en 2000 lorsqu'il a installé des turbines V47 de 600 à 660 kW. Jusqu'à maintenant, 235 turbines V47 ont été installées au Canada. Les nacelles, incluant les pales, sont importées du Danemark, mais la fabrication des tours se fait presque entièrement au Canada et aux États-Unis. L'annexe 1 décrit en détail les aérogénérateurs en exploitation au Canada.

Les premières turbines modernes de classe MW sont arrivées au Canada en 2001. Le groupe Vestas a installé 52 turbines V80 (1,8 MW) au total jusqu'ici. Tous les composants, dont les tours, sont importés du Danemark. En 2003, ce même groupe a installé un prototype de son modèle V90, une turbine de 3 MW, sur le Terrain d'essais éoliens de l'Atlantique (TEEA) à l'Île-du-Prince-Édouard. Le V90 demeure le plus gros aérogénérateur en Amérique du Nord. En plus, un petit nombre de turbines ont été installées au Canada par quelques sociétés européennes dont Tacke (600 kW), Lagerwey (750 kW), Nordex (Allemagne, 1,3 MW), Turbowind (Belgique, 600 kW), Jeumont (France, 750 kW) et Enercon (Allemagne, 600 kW).

De toutes les turbines installées au Canada, les seules dont le montage s'est effectué ici sont les 133 NEG Micon de 750 kW et les trois Jeumont de 750 kW, et les usines de montage ont fermé une fois les commandes exécutées.

Les perspectives concernant le montage de gros aérogénérateurs au Canada sont bonnes, mais elles ne sont pas assurées. Les programmes du gouvernement fédéral tels que le programme Encouragement à la production d'énergie éolienne (EPEE), le Projet pilote d'élimination et de réduction des émissions et d'apprentissage (PPEREA) d'Environnement Canada et l'approvisionnement de l'État en énergie verte ont donné un certain élan au marché de l'énergie éolienne, mais ces initiatives ne pourront pas mener à une percée durable à moins d'être accompagnées de programmes fédéraux et provinciaux de longue haleine, par exemple la prolongation de l'EPEE et des normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable (NPER), qui favorisent l'édification d'un marché suffisamment grand pour soutenir une activité manufacturière intérieure en énergie éolienne.

4.2 Fabrication des composants

La fabrication des composants au Canada se limite aux tours, aux pales et aux inverseurs. Des tours sont fabriquées par un certain nombre d'usines de produits sidérurgiques du Québec, de l'Ontario, de la Saskatchewan et de l'Alberta à l'aide de leur matériel courant.

Des pales d'aérogénérateur de 25 kW à 1,5 MW, fabriquées selon une technologie de pointe de moulage par transfert de résine, sont sorties des usines de la société Bolwell (Ontario) de 1994 à 2003. Les 250 jeux de pales produits par Bolwell, sauf deux, ont été exportés en Europe et aux États-Unis. L'augmentation des coûts d'expédition des pales de grandes dimensions, les risques liés aux taux de change et, surtout, l'absence d'un marché intérieur stable ont mené à la fermeture des opérations de Bolwell au début de 2004.

La société Xantrex, dont le siège social est à Vancouver, a commencé à vendre des inverseurs à GE Energy pour ses turbines de 1,5 MW en 2003, mais il est possible que GE Energy produise éventuellement ses propres inverseurs afin de consolider son intégration verticale.

Il s'est avéré impossible de justifier des investissements importants dans du matériel automatisé d'avant-garde, en raison de l'absence de contrats à long terme. Le même problème sévit aux États-Unis, où le programme de crédit d'impôt à la production n'a duré qu'un ou deux ans avant d'être discontinué pendant une période de 12 à 15 mois. Dans de telles conditions, l'entreprise privée ne peut ni ne veut investir dans l'achat de matériel de fabrication.

En conséquence, les nacelles, les pales de rotor et, dans certains cas, même les tours sont importées, surtout d'Europe, malgré les coûts d'expédition élevés. Les entreprises canadiennes en sont réduites aux travaux de chemins d'accès, de fondations, de grutage et d'interconnexion.

4.3 Service

Il n'y a actuellement aucune entreprise indépendante d'entretien des aérogénérateurs au Canada. Les exploitants d'aérogénérateurs arrivent, plus ou moins bien, à maintenir en état des parcs d'éoliennes relativement vieux comme celui de Cowley Ridge, en Alberta, et le parc Le Nordais au Québec. Les parcs les plus récents sont entretenus par l'équipementier lui-même, ce qui veut dire, dans la plupart des cas, le groupe Vestas.

Chaque parc d'éoliennes doit être géré et entretenu par une équipe locale de service composée de techniciens en mécanique, électricité et électronique. La maintenance périodique s'effectue à l'automne et au printemps. En outre, s'il y a panne, les exploitants doivent pouvoir compter immédiatement sur des services de diagnostic de défaillance, de remplacement de composants et de réparation. Des techniciens spécialisés, allant d'un

parc d'éoliennes à l'autre, s'occupent de l'inspection et de la réparation des pales. La révision des composants se fait habituellement à l'externe dans des ateliers spécialisés.

L'entretien des gros aérogénérateurs est devenu un commerce fort lucratif en Europe. La plupart du temps, l'équipementier se charge du service des turbines pendant les deux à cinq premières années, selon les termes de la garantie. Une fois cette période écoulée, certains exploitants de parc d'éoliennes s'occupent eux-mêmes de l'entretien, et d'autres le confient en sous-traitance à des entrepreneurs indépendants, lesquels ont habituellement des frais généraux plus bas, se spécialisent dans l'entretien et le service périodique et occasionnel et sont tout à fait capables d'offrir des services à prix concurrentiel. En plus de l'entretien et du service périodique et occasionnel, ces entrepreneurs pourront être appelés à exécuter les tâches suivantes :

- inspection, réparation et remise en état des pales de rotor (après 10 ans d'utilisation)
- remise en état et réparation de composants principaux tels que boîtes d'engrenage, alternateurs et éléments hydrauliques
- modernisation des améliorations apportées à des systèmes tels que ceux de filtration d'huile, de surveillance d'état et de contrôle du rendement.

4.4 Initiatives récentes d'édification d'une base canadienne de fabrication de gros aérogénérateurs

La mise en œuvre de projets d'énergie éolienne s'est faite de manière très fragmentée dans l'ensemble du Canada parce que chaque province, et chaque initiateur de projet, a ses propres objectifs et stratégies. Le Canada ne s'est pas doté d'une stratégie nationale d'aide à la création d'entreprises locales de fabrication d'aérogénérateurs. Qui plus est, il y a très peu de liens entre les initiateurs de parcs d'éoliennes, les investisseurs et l'industrie canadienne de la fabrication au niveau local. Hydro-Québec a fait exception à la règle en 2003, dans sa première demande de propositions (DP) concernant la production des premiers 1 000 MW, en exigeant un contenu local pouvant aller jusqu'à 60 p. 100 et en précisant la région du Québec, en l'occurrence, la Gaspésie, où devrait s'exécuter le montage des turbines.

Les obstacles n'ont pas empêché plusieurs sociétés canadiennes de tenter d'établir des usines de montage de gros aérogénérateurs, ou de fabrication de composants, par l'entremise de transferts de technologie (octroi de licences) ou de coentreprises faisant intervenir des fournisseurs européens d'aérogénérateurs. Le tableau suivant résume brièvement les initiatives canadiennes récentes :

Région	Entreprise canadienne	Fournisseur de technologie	Situation
Nouvelle-Écosse	Turbowinds Canada	Turbowinds, Belgique	Un prototype (importé) installé

Ontario	REpower Wind Corp. et	REpower AG, Allemagne	Annoncées en 2003, les
	Northland Power	750 kW et 1,5 MW	activités de fabrication à
			Sudbury n'ont pas encore
			commencé.
	Northland Power	Vensys, Allemagne	L'entreprise prévoit
		1,2 MW, à entraînement	installer un prototype à
		direct	Sudbury.
	Americas Wind Energy	Lagerwey, Hollande	Deux turbines (importées)
	Inc.	750 kW	installées et projet d'usine
			de montage.
Québec	GEQ (Groupement éolien	Jeumont Industries,	Trois turbines montées et
	québécois)	France, turbines J48 de	installées en 2003. Usine
		750 kW, à entraînement	maintenant fermée.
		direct	
	AAER Systems Inc.	Fuhrländer-Pleiderer AG,	Contrat de licence signé.
		Allemagne, turbines de	Construction prévue d'un
		600 kW à 1,5 MW	premier prototype au
			Québec d'ici 2005.
	TM4 Inc. (fabricant de	TM4 possède sa propre	En discussion avec
	générateurs)	technologie de générateur	plusieurs grands
		à aimant permanent	équipementiers
		_	d'aérogénérateurs en vue
			de partenariats

Tableau 8. Initiatives récentes de fabrication de gros aérogénérateurs au Canada

Compte tenu des obstacles importants à l'accès au marché pour les fabricants de grosses turbines et le peu d'appui offert par les initiateurs de projet et les investisseurs, les nouveaux venus trouvent extrêmement difficile d'affronter la concurrence sur un marché canadien dominé par des géants mondiaux comme les sociétés Vestas et GE Energy.

5.0 Possibilités et obstacles pour les entreprises canadiennes

5.1 Expansion prévue de l'énergie éolienne au Canada et aux États-Unis

Les auteurs des présentes ont consulté divers rapports, dont le rapport de 2004 de BTM Consult ApS, un pronostiqueur danois de renommée mondiale en matière d'énergie éolienne, ainsi que des renseignements provenant de l'ACÉÉ afin d'établir des prévisions réalistes. Alors qu'en Europe, l'industrie de l'énergie éolienne a atteint la maturité et que les prévisions peuvent s'y fonder sur des législations gouvernementales à long terme, il n'est pas possible de se servir de la même mesure comme indicateur prévisionnel pour l'Amérique du Nord. D'après nos hypothèses (énumérées ci-dessous et fondées avant tout sur des initiatives proposées ou mises en œuvre par les gouvernements fédéral et provinciaux), nous prévoyons pour le Canada, d'ici 2012, l'installation d'environ 5 600 MW (cumulatifs) de puissance énergétique éolienne et des investissements totaux de 8,4 milliards de dollars.

Province	Puissance cumulative installée prévue (MW) en décembre 2004		Prévisions 2005-2012					Puissance cumulative installée prévue d'ici la fin de 2012		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
TNet- Labrador	0	30	15	15	10	10	10	10	10	110
ÎPÉ.	14	5	10	10	10	0	0	15	15	79
NB.	0	10	15	15	15	15	15	15	15	115
NÉ.	10	20	10	10	10	10	10	15	15	110
Québec	113	150	150	150	300	300	300	350	350	2 163
Ontario	15	100	150	150	150	200	200	200	200	1 365
Manitoba	0	50	75	75	75	75	75	75	100	600
Saskatchewan	22	18	20	20	20	20	20	25	25	190
Alberta	269	60	60	60	60	60	60	70	70	769
СВ.	0	0	10	15	15	15	15	20	30	120
Yukon	1	0	1	0	1	0	1	0	1	5
T. NO.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
Nunavut	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
MW (par an)	444	443	517	521	667	705	722	795	831	5 645

1										
MW (cumulatif)	444	887	1 404	1 925	2 592	3 297	4 019	4 814	5 645	

Tableau 9. Expansion prévue de l'énergie éolienne au Canada

	Prévisions 2005-2012								
	2004 (cumulatif)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Revenus total	ux (en millions	de \$)							
Investissement Canada	666	665	776	782	1 001	1 058	1 083	1 193	1 247
Exploitation	19	45	70	101	126	155	190	213	250
Exportations	50	23	60	120	180	225	270	300	300
Revenus totaux	735	733	906	1 003	1 307	1 438	1 543	1 653	1 797
Emplois (en é	quivalent temp	s plein/a	n)						
Fabrication et installation	4 662	4 652	5 429	5 470	7 003	7 403	7 581	8 346	8 726
Exploitation	190	398	646	910	1 173	1 454	1 735	2 011	2 293
Exportation	50	150	400	800	1 200	1 500	1 800	2 000	2 000
Total des emplois	4 902	5 252	6 529	7 280	9 463	10 453	11 281	12 476	13 226

Source: SYNOVA International Business Development, 2004.

Tableau 10. Prévisions des revenus et des emplois dans le secteur de l'énergie éolienne au Canada

Les prévisions pour le Canada sont fondées sur les hypothèses suivantes :

- Les coûts d'exploitation incluent l'entretien périodique et occasionnel, un fonds de réserve pour réparations, les assurances, la surveillance et la gestion ainsi que les baux fonciers. Nous supposons que chaque 100 000 \$ CAN de coûts d'exploitation entraînera la création d'un équivalent temps plein (ETP) d'un an. Le calcul du coût d'exploitation annuel est fondé sur 4,25 p. 100 du coût départ usine d'un aérogénérateur, et nous supposons un coût départ usine de 1 million de dollars CAN par MW.
- Partant des données de l'American Wind Energy Association (AWEE), nous supposons qu'il faut 10,5 ETP pour fabriquer et installer une puissance d'un MW.
- Quant aux emplois qui seront créés pour l'exportation des composants, nous supposons :
 - qu'un ETP d'un an sera créé pour chaque 150 000 \$ CAN de ventes;
 - que 10 p. 100 des ventes aux États-Unis viendront du contenu canadien d'exportation, et équivalent à un ETP d'un an par MW installé aux États-Unis.
- Le coût de la puissance installée est estimé à 1,5 million de dollars par MW.

- Les gouvernements fédéral et provinciaux procèdent rapidement à la mise en œuvre de l'Accord de Kyoto et des engagements mentionnés plus haut, en vue de réduire les émissions.
- Le prix du baril de pétrole reste supérieur à 35 dollars US.
- Le programme EPEE s'étend à 4 000 MW, à 1,0 cent le kWh.
- Les gouvernements instaurent des programmes d'échanges internationaux et nationaux d'émissions de gaz à effet de serre (GES).
- Toutes les provinces, et spécialement l'Ontario, le Québec et le Manitoba, remplissent leur engagement à utiliser de l'énergie renouvelable.

Nos prévisions sont sensiblement plus élevées que celles concernant le Canada dans le rapport de BTM Consult ApS, *Word Market Update 2003*, où les débouchés d'exportation des entreprises canadiennes sont calculés d'après les prévisions pour les États-Unis, ainsi que le démontre le tableau 11 :

Province	Puissance cumulative installée (MW) d'ici la fin de 2003	Puissance installée (MW) en 2003	Prévisions pour 2004-2008 (y compris éoliennes en mer)			Puissance installée (MW) entre 2004 et 2008	Puissance cumulative installée (MW) d'ici la fin de 2008		
	2003	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total	Total cumulatif
Canada	351	81	150	200	200	250	250	1 050	1 401
États-Unis	6 361	1 687	700	1 200	1 500	2 000	2 000	7 400	13 761
Reste des Amériques	193	50	100	100	200	300	300	1 000	1 193
MW par an	6 905	1 818	950	1 500	1 900	2 550	2 550	9 450	16 355

Source: World Market Update 2003, BTM Consult ApS.

Tableau 11. Prévisions pour les Amériques

D'après les prévisions de SYNOVA, la puissance d'énergie éolienne installée par an pourrait atteindre les 831 MW d'ici 2012. En supposant que le contenu canadien puisse s'élever à 60 p. 100 de la fabrication et de l'installation d'aérogénérateurs et à 100 p. 100 des services aux parcs d'éoliennes et des exportations, voici les retombées annuelles à escompter d'ici 2012 :

Activité	Contenu canadien	Emplois
Fabrication et installation d'aérogénérateurs	748 millions \$	8 726
Exploitation, y compris entretien et remise en état	250 millions \$	2 300
Exportations	300 millions \$	2 000

Total	1 298 millions \$	13 026
-------	-------------------	--------

Tableau 12. Retombées annuelles pour le Canada d'ici 2012

5.2 Obstacles techniques à surmonter par les entreprises canadiennes

Le développement de gros aérogénérateurs modernes se poursuit depuis une vingtaine d'années en Europe et les technologies de l'énergie éolienne n'ont pas cessé de progresser au fil de l'acquisition d'un plus grand savoir-faire dans la conception, l'ingénierie, la fabrication, l'installation et l'exploitation des aérogénérateurs, grâce à la R-D, aux leçons tirées de l'expérience et des échecs et aux résultats d'essais. L'augmentation rapide du calibre des turbines et, dans certains cas, le manque de temps pour procéder à des essais adéquats, risquent d'entraîner des problèmes techniques majeurs susceptibles de mener à des difficultés financières pour les nouveaux venus dans l'industrie de la fabrication d'aérogénérateurs.

Les intervenants européens du secteur, qu'il s'agisse des fabricants d'aérogénérateurs, des fabricants de composants, des instituts de recherche, des organismes de certification ou des laboratoires d'essais des sociétés d'assurance, ont travaillé et travaillent toujours en étroite collaboration afin de régler un bon nombre des problèmes techniques propres à la fabrication des aérogénérateurs, par exemple :

- défectuosité de boîtes d'engrenage;
- défaut de pale de rotor;
- défaut d'alternateur;
- mauvaise qualité de l'énergie produite;
- problèmes de corrosion;
- bruit.

En matière d'approvisionnement en composants, les grands fabricants d'aérogénérateurs, comme GE Energy et le groupe Vestas, se sont dotés d'un réseau mondial de fournisseurs et font fabriquer pales de rotor et ossatures de base dans des pays aussi éloignés que le Brésil, et achètent leurs tours en Corée. En prenant leurs décisions d'approvisionnement, les géants de l'aérogénérateur tiennent compte de facteurs comme la qualité, le taux de change, les frais de transport, le délai d'exécution, les droits d'importation, les exigences quant au contenu local et l'utilisation de la capacité de leurs propres installations de production.

Le groupe Vestas, par exemple, a acquis en 2003 la société Windcast A/S, le plus grand fournisseur mondial de moulage sous pression, afin de s'assurer les capacités et les connaissances nécessaires pour produire et livrer des composants moulés de haute qualité tels que moyeux de pales et fondations de machines. En acquérant Windcast, le groupe Vestas a posé un geste stratégique visant à empêcher les composants moulés sous pression d'obstruer éventuellement le cycle de production vers un marché en pleine

croissance. Les figures 2 et 3 montrent des exemples illustrant la fabrication de composants moulés sous pression.





Publié avec l'autorisation de Vestas American Wind Technology, Inc. Source : Vestas Wind Systems A/S. Annual Report 2003. www.vestas.com

Figures 2 et 3 : Fabrication de composés moulés sous pression

Les obstacles techniques à surmonter par les fabricants canadiens sont les suivants :

- un manque de compétences spécialisées dans la conception, l'ingénierie et la mise à l'essai des gros aérogénérateurs modernes, les exploitants canadiens étant donc obligés de s'adresser à des fournisseurs étrangers;
- la difficulté à trouver des entreprises étrangères octroyant des licences portant sur la technologie des turbines, qui sont disposées à transférer des technologies concurrentielles au Canada;
- un manque de compétences spécialisées dans la conception, l'ingénierie et la fabrication de composants particuliers tels que boîtes d'engrenage, roulements de grande dimension, systèmes de commande électronique, alternateurs d'aérogénérateur, systèmes d'orientation et systèmes hydrauliques;
- des capacités manufacturières insuffisantes pour de vastes opérations de moulage sous pression et la fabrication automatisée de produits en métal;
- un manque d'ingénieurs et de techniciens d'expérience dans le montage d'aérogénérateurs et la fabrication de composants;
- l'absence d'installations pour l'essai des gros aérogénérateurs et de leurs composants;

• une productivité affaiblie par l'absence d'automatisation et le manque de matériel convenable de manutention.

5.3 Obstacles financiers à surmonter par les entreprises canadiennes

La plupart des fabricants canadiens potentiels d'aérogénérateurs et de composants que nous avons interrogés ont exprimé des craintes liées à l'incertitude qui entoure le marché canadien de l'énergie éolienne. Sans l'assurance de pouvoir produire de 300 MW à 600 MW d'énergie éolienne par an pendant au moins trois ans, ces entrepreneurs sont incapables de justifier l'investissement de millions de dollars. Et même avec une telle certitude, d'autres obstacles financiers se dresseront devant les fabricants canadiens.

Les fournisseurs européens sont extrêmement concurrentiels en raison du degré élevé d'automatisation de leurs usines et de la formation poussée de leur main-d'œuvre. Le défi à relever par les fabricants canadiens peut s'expliquer à l'aide de la courbe d'apprentissage qu'a dû suivre l'industrie de l'aérospatiale. Ce qui suit est l'exemple de ce qui se produit dans la fabrication de pales de rotor, laquelle fait appel à des procédés à fort intensité de main-d'œuvre.

La fabrication d'une pale de rotor pour un aérogénérateur de 1,5 MW prend environ 800 heures à une équipe de travailleurs bien formés et expérimentés. La réalisation d'un prototype prend ordinairement trois fois plus de temps, soit 2 400 heures. En attribuant à ce genre de travail un coefficient de courbe d'apprentissage de 86 p. 100, le fait de doubler le nombre de pales produites réduit de 86 p. 100 le nombre d'heures requises (voir le tableau 13).

Nombre de pales	Heures-personnes
1	2 400
2	1 064
4	1 775
8	1 527
16	1 313
32	1 129
64	970
128	835
>200	800

Tableau 13. Heures-personnes pour la fabrication de pales de rotor

Cet exemple illustre les défis que devra surmonter un nouveau fabricant canadien de pales de rotor sur un marché mondial concurrentiel. Ajoutons à cela la possibilité que les

concurrents étrangers aient déjà amorti les dépenses en matériel de production et n'aient même pas à en inclure l'amortissement à leurs coûts. Pour vaincre les difficultés du démarrage et réussir, le fabricant canadien nouveau venu aura besoin d'un soutien financier substantiel.

Dans la fabrication de grandes pales de rotor, les investissements en automatisation, en matériel de manutention, en formation et assistance technique, en essais d'homologation et en installations de production pourraient atteindre 10 millions de dollars CAN. Les établissements financiers courants ne sont pas disposés à financer le démarrage d'entreprises dans un secteur industriel nouveau comme celui de la fabrication d'aérogénérateurs.

L'aménagement de parcs d'éoliennes de plus en plus vastes fait grimper d'autant les besoins financiers des fabricants d'aérogénérateurs et de composants. Lorsque de grosses sociétés américaines de service public et d'énergie comme FPL Energy, Shell Wind Energy et American Electric Power investissent dans des parcs d'éoliennes de grande envergure, elles exigent que les fournisseurs de matériel soutiennent financièrement les garanties de prêt et d'exécution. Dans le cas des grands projets, seuls quelques géants de la fabrication d'aérogénérateurs, tels les groupes GE Energy, Vestas, Gamesa, Bonus, Enercon et Mitsubishi, sont envisagés comme fournisseurs. Les mêmes mesures s'appliquent au Canada, où les investisseurs, les assureurs et les initiateurs de projets, au moment de choisir les fournisseurs d'un vaste projet de parc d'éoliennes, exigent des produits et des technologies éprouvés et une solidité financière confirmée.

Pour les entreprises canadiennes qui débutent dans le secteur, les obstacles financiers sont difficiles à surmonter et il faut des années de mise au point, de prototypage, d'essais et de certification de produits avant qu'un fournisseur nouveau soit accepté par les initiateurs de projets et par les investisseurs. De plus, le nouveau venu devra affronter la concurrence féroce des chefs de file mondiaux déjà en place avec leurs produits éprouvés et leurs économies d'échelle.

Si le Canada veut que ses fabricants concurrencent les géants de ce marché en offrant des produits de qualité, il faudra que les gouvernements appuient financièrement les entreprises aux premières étapes de la commercialisation des produits et les aident à rattraper leur retard dans la courbe d'apprentissage. Il faudra aussi que l'État encourage les sociétés d'investissement en capital de risque à investir dans la fabrication de produits innovateurs, comme les gros aérogénérateurs et leurs composants.

5.4 Composants et services clés recommandés pour l'approvisionnement canadien

L'objectif global est de maximaliser le contenu canadien de la fabrication des gros aérogénérateurs dans toute la mesure du possible, sans faire augmenter le coût d'ensemble de l'électricité éolienne. À cette fin, il faut réfléchir à des questions telles que le coût d'expédition des composants de grande dimension, les obstacles techniques à

l'accès au marché ainsi que les forces et les faiblesses de l'assise manufacturière canadienne

Les débouchés pouvant s'ouvrir aux fabricants canadiens de composants dépendent avant tout de l'édification d'un marché intérieur stable des gros aérogénérateurs. Une fois atteinte la masse critique de 300 à 600 MW de puissance annuelle, si l'État a mis en place ses mécanismes d'appui à la fabrication de composants, une importante industrie nouvelle pourra s'établir comme ce fut le cas en Espagne. Les toutes nouvelles possibilités peuvent se regrouper comme suit :

- *Composants de nacelle* : Un marché intérieur de 600 MW par an devrait permettre l'établissement de deux usines de montage de nacelles au Canada.
- Composants de sous-systèmes : Les fournisseurs de sous-systèmes, par exemple les fabricants de boîtes d'engrenage et d'alternateurs, offriront des débouchés aux manufacturiers de composants.
- Pales de rotor et tours: Ces composants de grande dimension sont difficiles et coûteux à expédier. Le coût du transport entre l'Europe et l'Amérique du Nord peut contribuer à une augmentation du prix débarqué des pales de rotor pouvant atteindre 20 p. 100. Qui plus est, les taux de fret ont grimpé en flèche en raison de la hausse du coût du carburant et de l'insuffisance des capacités de transport de marchandises.

Voici les hypothèses utilisées pour quantifier les débouchés possibles (voir les tableaux 9 et 10) :

- La puissance installée annuelle du Canada se chiffre à 443 MW en 2005, à 667 MW en 2008 et à 831 MW en 2012.
- Deux géants mondiaux de la fabrication d'aérogénérateurs ouvrent des usines de montage au Canada dans les deux prochaines années.
- Les gouvernements fédéral et provinciaux instaurent des politiques et des mesures incitatives en faveur de l'énergie éolienne et du secteur manufacturier, et ces politiques et mesures incitatives se révèlent aussi efficaces que celle mises en œuvre dans des pays comme l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie, le Portugal, la France et le Royaume-Uni.

Composants et sous-systèmes dont la fabrication est recommandée au Canada

Composants de gros aérogénérateurs qui coûtent cher à faire venir d'Europe :

- l'acier d'une épaisseur de 12 à 35 mm servant à la fabrication de tours;
- les pales de rotor, y compris les scories;
- l'enrobage de la nacelle et des moyeux de pale (en FRP);
- l'arbre primaire de rotor;
- l'ossature de base et les corps de palier principal; usinage seulement puisque le Canada n'a plus les capacités nécessaires au moulage de grosses pièces en fonte.

Autres composants mécaniques :

- arbres de transmission flexibles (il faudra un transfert de technologie);
- freins à disque;
- supports antivibratoires (il faudra un transfert de technologie).

Un bon nombre de manufacturiers canadiens de produits en métal ont de l'expérience dans la fabrication des composants des turbines Vestas, NEG Micon, Nordex, Lagerwey et GE Energy qui sont installées au Canada.

Autres composants et montages électriques :

- inverseurs (Xantrex, de Vancouver, est un chef de file de la technologie des inverseurs pour aérogénérateurs);
- systèmes de stockage dans les grosses batteries pour la répartition des charges et l'alimentation de secours au moyen d'une batterie au vanadium Redox-Flow (la société VRB, de Vancouver, commercialise et offre cette technologie);
- armoires de commande, construites avec des pièces vendues dans le commerce;
- alternateurs.

Composants faisant l'objet d'obstacles importants d'accès au marché

Le tableau 14 donne un aperçu des obstacles à la fabrication de certains composants :

Composants	Raisons		
Grosses boîtes d'engrenage	Technologie qui n'existe plus au Canada		
Gros roulements	Technologie non existante au Canada		
Systèmes hydrauliques	Volume trop petit pour justifier un investissement		
Commandes d'orientation	Produit très compétitif, volume trop petit		
Dispositifs de régulation	Manque de compétences canadiennes et marché trop petit		

Tableau 14. Composants faisant l'objet d'obstacles importants d'accès au marché

Il est déconseillé aux entreprises canadiennes de se lancer dans la fabrication des composants ci-dessus, à moins que des fournisseurs étrangers ne soient disposés à mettre sur pied des installations de production au Canada.

Possibilités dans le domaine du service

L'entretien des aérogénérateurs offrira éventuellement des débouchés aux entreprises canadiennes. Les fournisseurs d'aérogénérateurs passent ordinairement des marchés de service pour les deux à cinq premières années d'exploitation, et ils embauchent et forment des techniciens de service locaux. Une fois les premières années passées, il s'ouvre des débouchés pour les entreprises de service indépendantes voulant soumissionner. Les possibilités éventuelles peuvent être regroupées dans les catégories suivantes :

- entretien des aérogénérateurs et réparation des turbines; entretien mécanique, électrique et électronique.
- entretien, réparation et révision des pales.
- révision des composants et réparation des boîtes d'engrenage, des alternateurs et des systèmes hydrauliques.
- améliorations apportées pour accroître la fiabilité, la sécurité et le rendement (ces tâches relevant d'ingénieurs spécialisés et pouvant être très lucratives).

Dans ce cas aussi, il est fortement recommandé aux entreprises canadiennes intéressées de faire équipe avec les meilleurs fournisseurs de service européens afin de tirer parti de leur savoir-faire accumulé au cours des 10 dernières années.

Il pourrait aussi y avoir des possibilités d'exportation, mais elles seront réservées à des fournisseurs de service spécial, par exemple la réparation des pales et la remise en état et l'amélioration des composants.

5.5 Débouchés à l'exportation pour les fournisseurs canadiens

Une fois le marché intérieur et l'assise manufacturière bien établis, il se créera des débouchés à l'exportation, principalement vers les États-Unis. Il faut se rappeler cependant que la plupart des fabricants européens de composants n'ouvriront qu'une seule usine en Amérique du Nord. Si le Canada agit rapidement et met en œuvre un plan exhaustif de soutien, un marché substantiel d'exportation pourra se développer.

Les débouchés à l'exportation, surtout vers les États-Unis, se feront jour lorsque le marché intérieur aura atteint une masse critique viable et que les fournisseurs de composants seront bien établis. De plus, pour assurer la compétitivité, il faudra une maind'œuvre très bien formée et un degré élevé d'automatisation des procédés de fabrication.

L'offre de gros composants sera restreinte aux régions avoisinant les États-Unis, par exemple la côte Est pour les projets extra-côtiers et les localités situées à 800 km ou moins de la frontière. Une clientèle intéressante pourrait se trouver dans le Midwest américain, en raison de ses excellentes ressources éoliennes et de ses vastes étendues de terrain convenant à l'aménagement de parcs d'éoliennes. Le transport par barges sur la voie navigable du Saint-Laurent jusqu'à St. Paul pourrait offrir une solution relativement moins coûteuse pour le fret expédié du Québec et de l'Ontario vers le Midwest américain.

En ce qui concerne les autres composants pouvant être expédiés en conteneurs, les coûts du transport sont très faibles en Amérique du Nord. L'enjeu décisif réside dans la compétitivité, qui s'acquerra par l'automatisation et la qualité supérieure des composants et du service. Il se peut que, globalement, le marché nord-américain ne puisse soutenir qu'un ou deux fabricants d'un même composant. Il est donc de la plus grande importance de prendre le départ avant que les États-Unis ne décident de se doter d'un programme à long terme (trois ans) de crédits d'impôt à la production. Le programme actuel se terminera à la fin de 2005.

Lorsque des sociétés européennes se lanceront dans la fabrication de composants au Canada, soit par investissement direct, coentreprise ou concession de licences, elles offriront leurs produits au marché américain afin de tirer pleinement parti de leurs installations canadiennes.

5.6 Fournisseurs canadiens aptes à se faire une place dans l'industrie de la fabrication de gros aérogénérateurs

La réalisation de la présente étude a donné lieu directement à l'élaboration d'une liste d'entreprises canadiennes aptes à devenir fournisseurs des fabricants et monteurs d'aérogénérateurs et de composants. Nous croyons cependant que le nombre d'entreprises intéressées augmentera à mesure que le milieu prendra conscience des possibilités offertes par la fabrication d'aérogénérateurs. Une liste complète de candidats potentiels figure à l'annexe 4. Le tableau 15 fait état des fournisseurs canadiens potentiels :

Activité	Fournisseurs canadiens potentiels
Montage d'aérogénérateurs	REpower (Canada) Americas Wind Energy Ltd. AAER Systems Inc. Irving Oil
Fabrication de tours	Hitachi (Canada) Industries Ltd. Marman Inc. Irving Oil Metal World Maxfield Inc. Algoma Steel Fabspec Tri-Voigt
Fabrication d'inverseurs	Xantrex Technology Inc.
Fabrication de pales	Composotech Inc.
Fabrication d'alternateurs	TM4 Inc
Fabrication de boîtes d'engrenage	Metso Drives (Ontario)
Fabrication d'armoires électriques	Powerhouse Controls
Fourniture de matériel de soudage	ESAB Automation (Canada

Fabrication de matériel de surveillance de l'huile	GasTops
Couplements	Ontario Drive and Gear

Tableau 15. Fournisseurs canadiens potentiels

6.0 Avantages et désavantages concurrentiels des entreprises canadiennes

Puisque les principaux fabricants mondiaux d'aérogénérateurs se chargeront d'approvisionner la plupart des grands parcs d'éoliennes d'Amérique du Nord, il nous faut comprendre que les décisions de ces géants de l'industrie reposeront sur l'achat de composants uniquement auprès de fournisseurs éprouvés et au prix le plus bas, transport compris.

Parmi les facteurs qui fonderont leurs choix, mentionnons la flexibilité, les délais courts, la certification ISO 9000, la vigueur financière et la proximité de l'usine de montage.

Les taux de main-d'œuvre spécialisée pratiqués au Canada sont considérablement plus bas que ceux du Danemark ou de l'Allemagne et se comparent à ceux des États-Unis au taux de change actuel. Toutefois, sans un niveau élevé d'automatisation, les entreprises canadiennes seront incapables de soutenir la concurrence des fournisseurs étrangers bien établis.

Pour s'affranchir du désavantage lié à une main-d'œuvre inexpérimentée et à une productivité affaiblie par un matériel désuet ou semi-manuel, les fournisseurs canadiens doivent prendre repère sur les grands fournisseurs européens et s'attacher avant tout à :

- comprendre la structure des prix au cours actuel du marché;
- se fixer des objectifs de coût de main-d'œuvre et de matériaux qui leur permettent d'offrir des prix plus bas que ceux de leurs concurrents de l'étranger;
- mettre en application les systèmes qualité exigés par leurs clients (ISO 9000, Six Sigma);
- investir dans l'automatisation;
- faire l'acquisition de technologies de fabrication en obtenant des transferts de technologie ou des licences;
- pousser la formation de la main-d'œuvre.

6.1 Base industrielle canadienne d'approvisionnement des gros aérogénérateurs

Les grappes industrielles du Canada se trouvent principalement à Montréal et à Toronto et dans la région de Kitchener-Waterloo-Cambridge-Guelph. La plupart des capacités de base d'usinage et de traitement y sont déjà en place et peuvent être adaptées à la fabrication de composants de gros aérogénérateurs.

Certaines capacités de production, par exemple celle des moulages, des roulements et des boîtes d'engrenage de grande dimension, n'existent plus au Canada. Il n'est peut-être pas viable de les acquérir de nouveau uniquement pour la fabrication de composants d'aérogénérateurs. L'économie mondiale exige que l'on se concentre sur la compétitivité et sur les avantages à valeur ajoutée. Il en est déjà ainsi dans l'industrie de la fabrication

des tours, où une entreprise canadienne se procure des brides de raccordement des sections de tour en les important de la société Skoda, en République tchèque, l'un des grands fabricants mondiaux dans ce domaine.

Il faut s'attendre à devoir affronter la concurrence des entreprises américaines dès que les États-Unis se seront dotés d'un marché durable des aérogénérateurs. Nul ne sait exactement quand ce moment viendra, mais là sera le défi suprême à relever.

En supposant que les entreprises canadiennes ont une avance de deux ans pour édifier leurs capacités, celles-ci seront alors en mesure de couper l'herbe sous le pied de leurs concurrents américains et de s'implanter comme fournisseurs fiables des fabricants d'aérogénérateurs.

6.2 Fabrication et service de composants d'éoliennes au Canada

La fabrication de composants de gros aérogénérateurs, un secteur de l'industrie dite lourde, fait intervenir des équipements de manutention des matériaux et de grands centres d'usinage. Plusieurs agglomérations industrielles canadiennes possèdent les capacités de base en transformation et en fabrication de composants d'éoliennes, sauf celles nécessaires aux moulages de grande dimension, aux boîtes d'engrenage et aux alternateurs. Le processus de fabrication de certains composants demande parfois la collaboration de plusieurs entreprises en raison de la possibilité qu'un composant doive passer par cinq à dix ateliers spécialisés.

D'autres composants tels que pales de rotor, nacelles et girouettes, tours et ossatures de base ne nécessitent pas le recours à de grandes installations ni à un réseau de soustraitants. Leur fabrication peut donc s'opérer à l'écart des agglomérations industrielles.

Quelques entreprises canadiennes possèdent déjà des compétences dans les domaines suivants :

- fabrication des tours et des ossatures de base;
- fabrication des pales de rotor;
- montage des nacelles;
- inverseurs électriques.

Le Canada ne compte encore aucune entreprise indépendante de service des aérogénérateurs. Par ailleurs, le service des turbines tout au long de leur cycle de vie (20 à 25 ans) offre d'excellentes possibilités aux entreprises canadiennes de prestation de services du même genre, qui pourront utiliser le matériel le plus efficient, par exemple des plates-formes au lieu de grues, et acquérir les pratiques optimales auprès des chefs de file européens de ce champ d'activités.

7.0 Résultats d'une enquête sur l'industrie

Des questionnaires ont été élaborés à l'intention des groupes suivants de l'industrie de l'énergie éolienne :

- fabricants étrangers d'aérogénérateurs;
- fabricants canadiens actuels et potentiels d'aérogénérateurs;
- fabricants étrangers de composants d'aérogénérateurs;
- fabricants canadiens actuels et potentiels de composants d'aérogénérateurs;
- entreprises canadiennes de service.

Des entrepreneurs appartenant à d'autres catégories ont également participé à l'enquête. Tous les intervenants qui ont accepté de répondre au questionnaire se sont montrés très positifs et très intéressés à se renseigner plus à fond au sujet du tout nouveau marché de l'énergie éolienne au Canada mais, avant de songer à investir, tous veulent aussi des preuves de l'existence d'un marché durable de produits et de services. Le questionnaire figure ici à l'annexe 3 de cette étude.

7.1 Fabricants d'aérogénérateurs

Introduction

Six des sept fabricants étrangers ont accepté de répondre au questionnaire. À l'heure actuelle, la seule entreprise de montage d'aérogénérateurs en Amérique du Nord est la société GE Energy, qui a des usines à Tehachapi (Californie) et à Pensacola (Floride).

Récemment, la société Hydro-Québec a choisi deux initiateurs de projets et les a chargés d'installer jusqu'à 660 éoliennes GE Energy de 1,5 MW, entre 2006 et 2012, dans le cadre de son premier grand projet d'énergie éolienne de 990 MW. Afin que soient respectée les exigences relatives au contenu local, GE Energy a pris l'engagement de mettre sur pied une usine de montage de nacelles et de fabrication de composants au Québec, dans la région de Matane, en Gaspésie. Hydro-Québec se prépare aussi à lancer une DP visant la production de 1 000 MW de plus. Il se peut que, dans les deux années à venir, d'autres usines de montage soient créées en Ontario ou dans l'Ouest canadien afin de répondre à la demande présente et future d'aérogénérateurs dans ces régions.

Selon les résultats obtenus par la DP visant la production de 300 MW d'énergie en Ontario, et selon les effets d'autres DP ou encore de mesures législatives provinciales subséquentes, le groupe Vestas pourrait se constituer une assise manufacturière en Ontario.

Un autre important fabricant d'aérogénérateurs, la société allemande Enercon, vient de régler un conflit de brevet avec GE Energy et il se peut qu'elle songe sérieusement à

ouvrir des usines de montage d'éoliennes au Canada pour le marché nord-américain. La plupart des petits fabricants européens d'aérogénérateurs, comme les sociétés REpower (Allemagne), Ecotècnia (Espagne), Fuhrländer (Allemagne), DeWind (Allemagne) et Suzlon (Inde) continuent d'hésiter à faire leur entrée dans le marché nord-américain en raison du conflit avec GE Wind concernant le brevet de la technologie des aérogénérateurs à vitesse variable.

L'affaiblissement du marché européen a amené ces entreprises à se concentrer sur la recherche de solutions techniques permettant d'éviter des litiges liés aux brevets détenus par GE Wind.

Le Canada a déjà eu deux usines de montage d'aérogénérateurs au Québec dans lesquelles s'est effectué, en 1999, le montage de 133 turbines NEG Micon de 750 kW et, en 2002-2003, celui de trois turbines Jeumont de 750 kW. Les usines ont fermé après avoir rempli ces commandes. Tel que mentionné dans la section précédente, il est permis de s'attendre à ce que deux fabricants étrangers ouvrent des usines de montage d'aérogénérateurs dans la région à faible développement de Matane, en Gaspésie. La longévité de ces usines dépendra de l'obtention de commandes de longue durée.

Il faut mentionner aussi la possibilité qui s'offre à un conglomérat canadien financièrement solide de se joindre en coentreprise avec un manufacturier européen d'aérogénérateurs, ou d'obtenir une licence de fabrication. Les sociétés REpower, Fuhrländer-W2E et Vensys ont laissé entendre qu'elles seraient bien disposées en ce sens.

Fabricants étrangers d'aérogénérateurs

Six fabricants européens de gros aérogénérateurs ont répondu au questionnaire. Voici ce qu'il en est ressorti :

- Les géants mondiaux de la fabrication d'aérogénérateurs ont tendance à investir eux-mêmes dans la mise sur pied d'usines de montage locales. Ils sont ordinairement à intégration verticale, n'accordent pas de licences d'utilisation de leurs technologies et ne sont pas enclins à acheter à l'extérieur des composants tels que pales de rotor, systèmes de régulation et alternateurs. En revanche, ils sont disposés à collaborer avec des entreprises étrangères bien établies de fabrication de composants si elles acceptent de venir s'installer au Canada.
- La plupart des petites et moyennes entreprises européennes du secteur sont disposées à octroyer des licences d'utilisation de leurs technologies ou à former des coentreprises avec des entreprises canadiennes afin de pouvoir accéder au marché rapidement et à faible risque. Les fabricants canadiens d'équipement industriel sont des partenaires recherchés en vue de coentreprises. De plus, les petits fabricants européens d'aérogénérateurs ne montrent aucune hésitation à acheter localement la plupart des composants, ce qui augure bien pour l'établissement d'une assise manufacturière canadienne de composants.

- Les commandes minimales nécessaires pour justifier l'ouverture d'une usine canadienne de montage varient parmi les fabricants étrangers, allant de 50 MW à 300 MW par an et de trois à cinq ans au moins. Plus grande est l'entreprise, plus le minimum exigé augmente. En réalité, il faudrait des commandes d'au moins 150 MW par an sur une période minimale de trois à cinq ans pour convaincre un grand fabricant étranger de mettre sur pied une usine de montage de nacelles au Canada.
- La mise en œuvre de politiques fédérales et provinciales durables et stables d'appui à l'énergie éolienne est essentielle à la création de coentreprises ou d'usines locales de montage au Canada par des fabricants européens. Les investisseurs européens pourraient aussi être attirés par un marché florissant de l'énergie verte et des échanges d'émissions de GES.
- Les meilleurs endroits où installer des usines de montage d'éoliennes sont ceux propices au transport des turbines (nacelles et pales). Il s'agit donc de lieux qui se trouvent à proximité des installations portuaires, des voies de chemin de fer et du réseau routier et qui offrent aussi une bonne infrastructure et l'accès facile à une main-d'œuvre qualifiée. Les incitatifs gouvernementaux, comme ceux offerts aux industries de l'aérospatiale et de l'automobile, par exemple les crédits d'impôt et les garanties d'emprunt, sont également d'une grande importance pour attirer les investissements dans des usines de fabrication de turbines.
- En comparaison des États-Unis, le Canada offre des avantages découlant d'une balance commerciale positive, d'une situation fiscale stable, d'une main-d'œuvre compétitive et d'affinités avec la mentalité européenne. Par contre, le marché canadien de l'énergie éolienne est beaucoup plus petit que celui des États-Unis, et il en est de même pour la chaîne d'approvisionnement canadienne du secteur des aérogénérateurs. Les risques de cours de change sont aussi une préoccupation constante lorsqu'il s'agit d'approvisionner les États-Unis depuis le Canada.
- D'ici six mois à un an, selon la conjoncture du marché et les commandes reçues en rapport avec les DP émises au Québec et Ontario, ces fabricants européens pourraient décider de la mise sur pied d'une usine de montage de turbines au Canada

Fabricants canadiens d'aérogénérateurs

À l'heure actuelle, il n'y a aucune entreprise de fabrication d'aérogénérateurs au Canada. Tel que mentionné à la section 4, quelques entreprises canadiennes ont pris l'initiative, ces dernières années, de transférer ici des technologies européennes, soit par l'obtention de licences, soit au moyen de coentreprises. Les entrevues effectuées auprès d'entrepreneurs de cette catégorie avaient pour but de cerner des possibilités qui pourraient s'ouvrir aux fabricants canadiens dans le domaine du montage des turbines et de la création d'autres produits. Cette démarche pragmatique se fonde sur des transferts de technologie (octroi de licences ou coentreprise) à partir de petites et moyennes

entreprises européennes de fabrication d'aérogénérateurs. Cinq entrepreneurs canadiens ont répondu au questionnaire.

- Jusqu'à maintenant, trois entreprises canadiennes ont passé des contrats de licence avec des fabricants européens d'éoliennes. Deux d'entre elles ont érigé des turbines de démonstration (moins de 1 000 kW de puissance nominale) au Canada, mais aucune n'est en mesure de concurrencer les chefs de file mondiaux pour décrocher des projets de grande envergure dans le marché canadien, en raison de produits trop petits ou de ressources financières limitées.
- Vu le nombre restreint, dans le marché actuel, de types de turbines de classe MW pour lesquelles des sociétés européennes pourraient octroyer des licences, les fabricants canadiens sont très limités dans leurs choix, ce qui restreint d'autant la variété des produits offerts aux consommateurs et contribue à la difficulté éprouvée par les entreprises canadiennes de concurrencer les multinationales pour décrocher des projets de grande envergure. Il ne leur reste que des projets de petite envergure (moins de 10 MW) ou de démonstration.
- Les entrepreneurs canadiens ont pleinement confiance dans les capacités manufacturières du Canada. À l'exception de quelques composants clés (p. ex. génératrices à entraînement direct et à vitesse variable, boîtes d'engrenage et systèmes de contrôle de turbine), les entreprises canadiennes peuvent s'approvisionner presque en totalité (y compris en pales de rotor d'éoliennes de 750 kW) au Canada. Elles y trouvent l'avantage d'un coût de fabrication concurrentiel, de frais de transport allégés et de services rapides aux consommateurs locaux.
- Les fabricants canadiens sont d'accord avec les exigences relatives au contenu local pour les turbines installées au Canada, laquelle les aide à se ménager une part des travaux de projets de grande envergure, mais ils sont aussi vivement désireux d'exporter leurs produits aux États-Unis.
- S'il s'agit de choisir parmi différentes mesures incitatives que pourrait prendre l'État à l'appui de l'énergie éolienne, les fabricants canadiens favorisent avant tout le financement de la R-D, l'aide à la commercialisation, le soutien à la construction et à l'essai de prototypes et l'investissement dans les transferts de technologie, les installations manufacturières et aussi dans la formation et les techniques propres à permettre aux Canadiens de rattraper leurs retards d'apprentissage par rapport aux Européens. Selon les entrepreneurs interrogés, les fonds nécessaires au montage d'une turbine de démonstration se chiffrent entre 2 et 4 millions de dollars CAN.
- Dans le meilleur des mondes, le manufacturier canadien voudrait obtenir une commande importante de turbines afin de justifier un gros investissement initial dans des installations de fabrication. Cependant, dans la conjoncture actuelle du marché, il n'est pas possible de décrocher une commande sans présenter des preuves de succès antérieurs et des produits éprouvés, sans oublier de solidité financière. En conséquence, les nouveaux venus canadiens dans le marché de la

fabrication des gros aérogénérateurs se retrouvent pris dans un cercle vicieux dont ils doivent se libérer

7.2 Fabricants de composants d'aérogénérateurs

Étant donné l'absence d'usines de montage de nacelles et les exigences qui prévalent en Amérique du Nord relativement au contenu local, les personnes interrogées parmi les fabricants européens de composants d'aérogénérateurs ne voient pas la nécessité de produire aux États-Unis ou au Canada. Les exceptions se limitent à l'usine de fabrication de pales de la société LM, dans le Dakota du Nord, et celle de révision et de montage de boîtes d'engrenage de Winergy ailleurs aux États-Unis. Les fabricants européens de composants d'aérogénérateurs sont conscients de l'émergence d'un marché de l'énergie éolienne aux États-Unis et au Canada. À la suite de leur expérience en Espagne, ils savent fort bien qu'ils doivent produire localement une fois que le marché a atteint un certain volume. La plupart d'entre eux préfèrent opérer au Canada plutôt qu'aux États-Unis, parce qu'ils se sentent plus à l'aise au Canada, mais leur objectif final n'en reste pas moins d'approvisionner le marché américain.

Fabricants étrangers de composants d'aérogénérateurs

Au total, huit fabricants étrangers de composants d'aérogénérateurs ont répondu au questionnaire. Ils produisent des boîtes d'engrenage, des alternateurs, des amortisseurs de vibration et des supports antivibratoires, des pales de rotor, des tours et du matériel automatisé pour les tours, les couplements, les limiteurs de couple et les roulements.

Les gros composants tels que tours et pales de rotor sont, de préférence, fabriqués sur place en raison des économies permises de coût de transport et du pourcentage élevé qu'ils constituent dans la valeur de l'aérogénérateur. Les petits composants tels qu'amortisseurs de vibration et roulements sont difficiles à fabriquer sur place, parce qu'ils ne permettent pas les économies d'échelle qui justifieraient l'investissement et parce qu'ils ne représentent qu'un pourcentage relativement faible de la valeur de l'aérogénérateur.

• Dans la plupart des projets déjà réalisés au Canada, la fabrication de tours a été confiée en sous-traitance à des entreprises canadiennes, mais le marché est très compétitif et les fabricants canadiens ne disposent pas du matériel automatisé d'avant-garde voulu pour concurrencer leurs homologues étrangers sur le plan des prix et de la qualité. Il faudrait une commande annuelle de 150 tours pour qu'un fabricant soit justifié d'investir massivement dans l'achat de matériel automatisé de pointe. À titre d'exemple, il en coûte 5,2 millions de dollars US pour installer une chaîne de fabrication automatisée (découpage des plaques, roulage, soudage, etc.) pour les tours. Qui plus est, l'entreposage des stocks d'acier crée des complications pour les fabricants de tours.

- Les ossatures de base, les moyeux de rotors et les gros boîtiers de roulement central, dont la fabrication ressemble à celle des tours, pourraient être usinés par un manufacturier de tours. La fabrication de ces composants à faible valeur ajoutée est confiée en sous-traitance à des ateliers locaux d'usinage ou d'assemblage. C'est une industrie à concurrence très forte.
- La pale de rotor est un composant à haute valeur ajoutée de l'aérogénérateur. Il s'est fabriqué des pales au Canada, mais toutes les pales installées ici sont venues d'Europe, sauf celles de deux turbines Lagerwey de 750 kW. Il en est ainsi parce que la plupart des grands fabricants européens d'aérogénérateurs ont leurs propres usines de fabrication de pales et n'achètent donc pas à l'externe. Qui plus est, le plus grand fabricant indépendant de pales de rotor, la société LM Glasfiber A/S, a ouvert une usine dans le Dakota du Nord, aux États-Unis, et fera désormais concurrence à tous les fournisseurs canadiens de pales. Les débouchés qui restent aux fournisseurs canadiens éventuels pourraient se trouver dans des créneaux spécialisés de marché et dans l'industrie des services. Il y a 650 vieilles turbines Zond de 750 kW en exploitation aux États-Unis et elles ont besoin de nouvelles pales ou d'entretien. Les petites et moyennes entreprises européennes de fabrication d'aérogénérateurs pourraient vendre sous peu leurs produits en Amérique du Nord, et il leur faudra acheter des pales à l'externe.
- Les exigences relatives au contenu local stipulées dans la DP d'Hydro-Québec concernant des éoliennes d'une puissance totale de 1 000 MW pourraient entraîner la mise sur pied d'une usine de fabrication de pales dans la région de Matane, en Gaspésie. La société GE Energy pourrait demander à ses fournisseurs actuels d'établir une telle usine dans la région.
- Il faudrait des ventes annuelles d'au moins 2,8 millions de dollars (15 MW) pour qu'un petit ou moyen fabricant européen de pales investisse dans une usine de fabrication au Canada, et il faudrait aussi qu'un contrat d'approvisionnement de longue durée soit passé avec un grand fabricant d'aérogénérateurs. Une telle possibilité se dessine du côté de la société Euros GmbH, d'Allemagne, qui a octroyé autrefois un permis de production de ses pales à Bolwell Corporation et qui serait intéressée à lancer une coentreprise avec le successeur de Bolwell en Ontario, Composotech Inc., en vue d'approvisionner le marché nord-américain.
- Des composants tels qu'engrenages, amortisseurs de vibration, supports antivibratoires et roulements sont vendus par des fabricants spécialisés propriétaires de techniques exclusives. Ces fabricants approvisionnent les marchés mondiaux et conservent habituellement la production dans leurs propres installations à moins que l'existence d'un marché étranger assez vaste et l'assurance d'économies de coût ne les convainquent de mettre sur pied une nouvelle usine sur place. Ordinairement, le transfert de technologie n'est pas envisageable en raison de l'exclusivité, et un investissement initial important est difficile à justifier en raison des revenus relativement faibles à escompter de la

vente de ces petits composants dans les marchés locaux. Il n'y en a pas moins certaines exceptions aptes à convaincre de grands fabricants de composants d'aérogénérateurs d'ouvrir des installations de production en vue d'approvisionner le marché nord-américain. À titre d'exemple, la société KTR, un fabricant allemand de couplements et de limiteurs de couple, est intéressée à mettre sur pied des installations de montage et une base d'approvisionnement en Amérique du Nord.

- Les alternateurs, les moteurs et les transformateurs électriques sont autant de composants dont la fabrication pourrait être attrayante pour les entrepreneurs canadiens à la recherche de possibilités de coopérer avec les grands fabricants européens. Des ventes annuelles de 9 millions de dollars pendant au moins trois ans pourraient suffire à convaincre un fabricant européen de mettre sur pied des installations de production au Canada.
- De l'avis de la plupart des fabricants étrangers, le marché canadien souffre d'un manque d'incitatifs gouvernementaux de longue haleine pour appuyer les projets d'énergie éolienne. Le marché canadien est nettement de plus faible envergure que celui des États-Unis. Il n'est pas facile de décider d'investir dans une usine de fabrication au Canada. Par contre, les Européens se sentent plus à l'aise au Canada qu'aux États-Unis, parce qu'ils retrouvent ici un climat commercial et culturel semblable au leur. Le programme américain de crédits d'impôt à la production vient d'être prolongé jusqu'à la fin de 2005, mais ce prolongement de 15 mois sera peut-être trop court pour que puisse être entamée la fabrication à grande échelle d'aérogénérateurs aux États-Unis. Il pourrait y avoir là une bonne occasion d'attirer les investissements européens au Canada.
- Le financement gouvernemental des transferts de technologie et de la formation serait un atout aux yeux des fabricants européens.

Fabricants canadiens actuels et potentiels de composants d'aérogénérateurs

Dans ce secteur, 12 entreprises au total ont accepté de prendre part aux entrevues et 6 de ce nombre s'intéressaient à la fabrication de tours d'éoliennes. Les entrepreneurs interrogés fabriquent déjà ou prévoient fabriquer des composants tels que pales de rotor, inverseurs, tableaux de commande, alternateurs, couplements, tours, ossatures de base et moyeux de rotors. Il y a actuellement trois fabricants canadiens qui vendent des composants à des manufacturiers étrangers d'aérogénérateurs : Xantrex Tech Inc. (inverseurs) et les sociétés Marmen Inc. et Hitachi (Canada) Industries Ltd. (tours). Les autres entreprises participant à l'enquête en sont à l'étape de la planification ou elles ne sont pas en exploitation, faute de commandes.

• La fabrication des tours, des ossatures de base et des moyeux de rotors est un secteur très concurrentiel et, pour rester compétitif, il faut absolument disposer de

matériel automatisé mais, en raison de l'incertitude qui règne actuellement dans le marché, il est difficile aux fabricants canadiens de faire des investissements importants de capitaux. La pénurie d'acier et l'absence de commandes à long terme sont autant de pierres d'achoppement pour les intervenants de ce secteur. En plus de la concurrence intérieure, les fabricants canadiens doivent aussi affronter celle des États-Unis, de l'Asie, de l'Amérique du Sud et de l'Europe.

- La plupart des grands fabricants étrangers d'aérogénérateurs, qui font concurrence dans le marché canadien, fabriquent leurs pales de rotor à l'interne et ferment ainsi aux entreprises indépendantes canadiennes de fabrication de pales un débouché potentiel dans l'approvisionnement du marché local. Le lancement d'une coentreprise avec une grande société européenne de conception et fabrication de pales pourrait ouvrir des possibilités aux fabricants canadiens (p. ex. Composotech), tant dans le marché intérieur que dans celui de l'exportation.
- L'électronique de puissance et les inverseurs sont des éléments intégrants de la commande et de l'exploitation d'un aérogénérateur. La société Xantrex est bien placée pour approvisionner les marchés américain et européen, mais ses installations de production se trouvent aux États-Unis et en Allemagne. Il lui faudra des volumes substantiels de transactions avant d'ouvrir une usine de fabrication ici.
- Les compétences spécialisées nécessaires à la conception et à la fabrication de groupes turbine alternateur sont effectivement présentes au Canada, mais les entreprises canadiennes n'ont pas formé de partenariats avec les grands manufacturiers d'aérogénérateurs et ne disposent pas des fonds voulus pour construire des prototypes et commercialiser leurs produits.
- Voici les obstacles les plus communs auxquels se heurtent les fabricants canadiens: manque de compétences techniques, concurrence des multinationales de l'approvisionnement et insuffisance des commandes soutenues à long terme.
- Voici, en général, ce à quoi s'attendent les entreprises canadiennes en matière d'aide de l'État à l'édification d'une industrie locale de fabrication de composants :
 - accroissement de l'aide financière à la R-D et à la commercialisation;
 - incitatifs à long terme et politiques de soutien afin de créer un marché intérieur vaste et stable de l'énergie éolienne;
 - aide aux entreprises canadiennes pour qu'elles acquièrent les compétences techniques voulues au moyen de licences ou de coentreprises avec les géants mondiaux de la fabrication de composants d'aérogénérateurs;
 - financement des transferts de technologie et de la formation;
 - mesure législative exigeant un contenu local minimal dans les projets d'énergie éolienne.

Délégué commercial du Danemark

Le délégué commercial du Danemark, M. Tomas Bruun, s'est montré très intéressé à nous apporter son aide en facilitant l'entrée en contact avec les fabricants danois d'aérogénérateurs et de composants. Le personnel de son bureau a dressé une première liste de ces entreprises (voir l'annexe 5).

M. Bruun a offert:

- de faciliter les transferts de technologie;
- de susciter la coopération entre l'ACÉÉ et le centre de R-D danois financé par l'État (le Risø);
- d'aider à organiser une mission commerciale;
- d'établir des contacts entre des hauts fonctionnaires canadiens et danois.

Renseignements:

M. Tomas Bruun

Téléphone : (514) 499-2099 Télécopieur : (514) 499-0767

Courriel: dtcmont@dtcmontreal.ca

Site Web: www.eksportraadet.dk/hand/montreal

8.0 Leçons tirées de la réussite des fabricants d'aérogénérateurs en Espagne

L'industrie espagnole de l'énergie éolienne y est allée à fond ces dernières années et elle a remporté des victoires remarquables tant dans la conception que dans la fabrication. En 1991, l'Espagne avait seulement 7 MW de puissance installée; à la fin de 2003, elle cumulait 6 420 MW de puissance installée et se hissait au deuxième rang, qu'elle occupe toujours, de tous les pays du monde en matière de production d'énergie éolienne.

Une bonne part du succès de l'Espagne peut être attribuable à une politique nationale d'appui vigoureux à l'industrie de l'énergie renouvelable. En 1994, l'Espagne instaurait sa première mesure législative en ce sens, laquelle obligeait toutes les entreprises de distribution d'électricité à payer un prix supérieur de soutien à l'énergie verte; cette législation est semblable à celle entrée en vigueur en Allemagne sur l'alimentation en électricité. En 1997, l'État espagnol réaffirmait son engagement politique et juridique envers les sources d'énergie renouvelables en adoptant une nouvelle *Loi sur l'électricité*, conçue dans le but d'harmoniser toute l'infrastructure d'électricité et d'ouvrir graduellement tout le marché européen de l'énergie à la concurrence. Le prix moyen payé aux producteurs d'énergie éolienne en Espagne était de 0,0638 euros le kWh en 2003, ce qui rend relativement attrayant l'investissement dans ce secteur.

L'essor de l'énergie éolienne a ouvert d'excellentes possibilités à l'expansion de l'industrie espagnole de la fabrication d'aérogénérateurs. L'impulsion décisive du développement de l'énergie éolienne en Espagne s'est opérée du bas vers le haut, partant des administrations régionales désireuses de voir des usines se construire et créer des emplois pour la main-d'œuvre locale. Au niveau des provinces, l'incitatif est clair : les entreprises voulant exploiter les ressources éoliennes de la région doivent agir de façon que leurs investissements apportent des avantages financiers à l'économie locale et, dans toute la mesure du possible, acheter leur matériel de production chez les manufacturiers locaux.

Dès 1999, les entreprises espagnoles fabriquaient des aérogénérateurs complets et aussi des composants tels que pales de rotor, alternateurs, boîtes d'engrenage, tours, capteurs de mesure du vent, etc. En conséquence, la plupart des turbines installées en Espagne sont de fabrication locale et le pays continue de favoriser non seulement les principaux fournisseurs locaux tels que les sociétés Ecotècnia et MADE, mais aussi Gamesa Eólica, née d'une coentreprise antérieure avec le groupe Vestas et devenue le quatrième plus grand fournisseur mondial d'aérogénérateurs, avec une part de 12 p. 100 du marché en 2003. De plus, plusieurs fabricants d'aérogénérateurs du Danemark et des États-Unis se sont dotés d'installations manufacturières en Espagne afin d'opérer dans le marché intérieur tout en se conformant aux exigences relatives au contenu local. C'est le cas notamment des géants industriels NEG Micon, Bonus, GE Energy et LM Glasfiber, ce dernier étant un chef de file mondial en fabrication de pales de rotor.

Voici ce que répond un intervenant bien au fait de l'industrie éolienne en Espagne à la question de savoir comment un pays peut s'y prendre pour implanter une industrie viable de la fabrication d'aérogénérateurs : *Prévoir un minimum d'entre 500 MW et 800 MW par fabricant pendant cinq ans au moins afin de soutenir le développement de l'investissement et l'expansion des entreprises*.

Il faut au minimum deux ou trois grands fabricants d'aérogénérateurs pour permettre l'édification d'une chaîne d'approvisionnement apte à alimenter le marché national. Un plan national de cinq ans devrait se baser sur une capacité de production de 5 ans x 2,5 fournisseurs x 650 MW par an par fournisseur, ce qui fait 8 000 MW.

Un part de la production totale serait exportée. La part moyenne destinée à l'exportation étant de 25 p. 100, il faut une capacité nationale totale d'installation de 6 000 MW pendant cinq ans pour attirer les investissements et créer une industrie locale viable de fabrication d'aérogénérateurs. Tel est le cas en Espagne depuis quelques années. La réussite espagnole est peut-être impossible à reproduire au Canada, mais ces renseignements indiquent tout de même aux intervenants canadiens les conditions nécessaires à l'édification d'une industrie locale viable de l'énergie éolienne.

9.0 Conclusions et initiatives proposées

9.1 Conclusions

Source d'énergie dont l'exploitation se développe le plus rapidement dans le monde, l'énergie éolienne est en train de devenir une source d'approvisionnement énergétique complémentaire courante et respectueuse de l'environnement. Le dernier rapport *Wind Force 12* préparé par BTM pour Greenpeace et l'European Wind Energy Association brosse le tableau suivant de l'énergie éolienne d'ici 2020 :

- 12 p. 100 de la demande mondiale d'électricité comblée (5 000 TWh par an);
- 1 245 030 MW de puissance énergétique installée;
- un commerce d'une valeur annuelle de 125 milliards de dollars CAN;
- une réduction cumulative de 10 771 millions de tonnes d'émissions de CO₂;
- un niveau de prix de vente de 3,8 cents le kWh et des coûts d'installation de 800 \$ CAN le kW.

Il est donc urgent que les décideurs politiques et industriels étudient sérieusement les possibilités et les risques à long terme de l'industrie de l'énergie éolienne.

Il faut s'attendre à ce que le marché nord-américain de l'énergie éolienne connaisse des progrès impressionnants dans la foulée des réalisations suivantes :

- la prolongation jusqu'à la fin de 2005 du programme américain de crédits d'impôt à la production;
- l'octroi d'un contrat d'Hydro-Québec visant la production de 990 MW d'énergie éolienne, et l'émission escomptée d'une DP pour la production de 1 000 MW de plus;
- la décision prise par le gouvernement de l'Ontario de fermer, d'ici 2007, deux centrales thermiques alimentées au charbon, dont la capacité combinée se chiffre à 7 557 MW, et de les remplacer en partie par des sources d'énergie renouvelable;
- l'engagement récent pris par le Manitoba d'installer une puissance de 1 000 MW d'énergie renouvelable;
- l'engagement de la Russie à ratifier le Protocole de Kyoto, obligeant ainsi le Canada à mettre en œuvre les mesures voulues pour limiter ses émissions de GES à 572 millions de tonnes par an d'ici 2010, ce qui nécessite une réduction d'un quart de ces émissions pendant la présente décennie.

Ces faits nouveaux ont accru radicalement les possibilités d'augmenter la part de l'énergie éolienne dans l'approvisionnement énergétique total. La question reste de savoir si le Canada va continuer d'importer presque tous ses aérogénérateurs et composants ou s'il veut devenir un chef de file de la fabrication d'aérogénérateurs et de composants.

Les avantages à tirer de la création d'une nouvelle industrie sont immenses, mais les emplois et les exportations à espérer ne se créeront pas d'eux-mêmes. Pendant que le secteur manufacturier de l'énergie éolienne passait d'une industrie à petite échelle à la mondialisation et à la consolidation industrielle, le Canada a probablement raté l'occasion

de mettre sur pied ses propres aérogénérateurs de volume utilitaire. Il n'en reste pas moins des chances formidables d'attirer ici de grands fabricants étrangers d'éoliennes et de composants.

Le Canada conserve la possibilité de mettre en œuvre le plan intégré qui lui permettra de remplir l'engagement à réduire ses émissions de GES, pris dans le cadre du Protocole de Kyoto, tout en édifiant une industrie nouvelle. Les gouvernements et les dirigeants de l'industrie devront unir leurs efforts pour atteindre l'objectif de mettre sur pied un secteur canadien concurrentiel de la fabrication d'aérogénérateurs.

Il faut choisir le bon moment pour faire son entrée dans un marché. Le processus doit s'enclencher d'ici quelques années au plus, sinon le projet deviendra plus difficile et plus coûteux. Il est essentiel que les fournisseurs canadiens comprennent à fond l'industrie, la technologie et le marché afin de pouvoir offrir à temps des produits et des services concurrentiels.

La conjoncture actuelle du marché donne un aperçu des débouchés prévus sur le plan des investissements et des emplois (tableaux 9 et 10), autant d'occasions que le Canada risque de manquer en se cantonnant simplement dans le statu quo, mais dont il pourrait tirer profit en offrant des composants et des services aux grands fabricants d'aérogénérateurs. Les auteurs des présentes proposent un objectif aux entreprises canadiennes, celui de saisir 20 p. 100 du marché nord-américain de l'énergie éolienne d'ici 2012.

9.2 Initiatives proposées

Puisque l'industrie manufacturière du Canada ne possède pas la technologie de pointe ni le savoir-faire nécessaires à la fabrication des gros aérogénérateurs et de leurs composants, il est difficile aux entreprises canadiennes de se faire une place dans le marché nord-américain sans l'encadrement de programmes de l'État et le transfert de technologies provenant des chefs de file européens du secteur. Après avoir examiné les principaux sous-systèmes et composants habituels des gros aérogénérateurs, nous recommandons au Canada de concentrer ses efforts sur l'implantation d'un noyau de fournisseurs des composants et services ci-après, en se fondant sur les critères suivants : (1) peu d'obstacles à l'accès au marché, (2) produits volumineux (frais élevés de transport de l'Europe à l'Amérique du Nord) et (3) technologies déjà en exploitation au Canada.

Composants et sous-systèmes :

- pales de rotor, capots de nacelle et girouettes;
- tours et ossatures de base;
- supports antivibratoires;
- alternateurs:
- inverseurs.

Service:

- entretien, réparation et remise en état des aérogénérateurs et de leurs composants;
- logistique et grutage.

Il faudra pouvoir compter sur l'appui de l'État pour constituer un noyau de fournisseurs concurrentiels de montage d'aérogénérateurs et de fabrication de composants. En mettant à exécution un programme solidement financé d'une durée de trois à cinq ans, le Canada se donnera les moyens d'établir une nouvelle industrie de fabrication et de service, de créer des milliers d'emplois en technologie de pointe et de se hisser au rang de chef de file en Amérique du Nord. Des organismes gouvernementaux, dont Industrie Canada, Ressources naturelles Canada (RNCan) et Environnement Canada, de concert avec l'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ), doivent coordonner leurs efforts en vue d'offrir une série commune de directives claires à l'intention des entreprises intéressées à prendre part à cette toute nouvelle industrie.

Voici les initiatives recommandées :

À court terme (débutant immédiatement)

- Produire un dépliant à l'intention des entrepreneurs canadiens et européens intéressés à se lancer dans la fabrication ou encore le service des gros aérogénérateurs et de leurs composants. Le texte devrait contenir des renseignements essentiels concernant les prévisions de marché, les incitatifs fiscaux, les programmes d'appui et les avantages à faire appel à des fabricants et fournisseurs de service locaux.
- Confier à Industrie Canada, à RNCan et à l'ACÉÉ l'organisation et la tenue de séances d'information pour les entrepreneurs intéressés. Les entreprises canadiennes doivent avoir une idée nette de la chaîne d'approvisionnement dans son entier, depuis la matière première de composants tels que les pales de rotor et les tours, pour être capables de repérer les débouchés. L'ACÉÉ a fait part de sa volonté à prendre part à de telles séances.
- Suivre les pistes indiquées dans le présent rapport. Rendre visite aux entrepreneurs et appuyer activement les transferts de technologie, les coentreprises et les investissements étrangers.
- Préparer une étude, en prenant en exemple la Voie maritime du Saint-Laurent, sur le transport de gros composants (pales, tours et nacelles) depuis l'Est et le centre du Canada, le Québec et l'Ontario jusqu'au Midwest américain où se construisent de grands parcs d'éoliennes.

À long terme (de trois à cinq ans)

Élaborer et mettre en œuvre un plan à long terme et bien financé en vue de faire accepter les objectifs cernés à la section 5.1 et d'établir un noyau de fournisseurs concurrentiels d'aérogénérateurs. Le plan devra comprendre les éléments suivants :

- Des initiatives visant la création d'un marché canadien de l'énergie éolienne assez stable pour soutenir des activités manufacturières. Ces initiatives devront inclure :
 - un EPEE élargi et simplifié (minimum de 4 000 MW; 1 cent le kWh);
 - l'instauration des normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable (NPER) par les provinces;
 - une législation touchant l'accès aux réseaux;
 - le plafonnement des émissions, les échanges d'émissions de GES;
 - l'harmonisation de l'approbation d'une évaluation environnementale (niveaux fédéral et provincial).
- L'appui financer au lancement d'entreprises manufacturières par des moyens tels que :
 - le financement des transferts de technologie;
 - le financement de la commercialisation, du prototypage et de la recertification, y compris les essais de qualification;
 - les incitatifs fiscaux à l'achat de biens d'équipement;
 - le financement de la formation et de l'assistance technique;
 - les encouragements aux chefs de file étrangers en technologie pour qu'ils mettent sur pied des installations au Canada.
- L'aide financière à la commercialisation et à la R-D en créant un programme spécial semblable à ceux établis pour les secteurs de l'automobile et de l'aérospatiale.
- L'organisation de missions commerciales afin de réunir les manufacturiers canadiens intéressés et les chefs de file étrangers en technologie. Ces activités devraient faire intervenir les délégués commerciaux du Canada.
- L'invitation de chefs de file étrangers en technologie au Canada pour s'entretenir avec des partenaires ou encore détenteurs potentiels de licences.
- Un appui financier aux universités et collèges canadiens pour les amener à offrir des cours de formation spécialisée en installation et service technique des aérogénérateurs. Il serait utile d'établir un partenariat avec des établissements de formation en Europe. Dans la foulée de la conférence de l'ACÉÉ, l'Association des collèges communautaires du Canada a entamé des pourparlers avec des établissements de formation danois. Les initiatives de ce genre pourraient être élargies et soutenues.
- La modernisation du Terrain d'essais éoliens de l'Atlantique (TEEA) à l'Île-du-Prince-Édouard afin de le doter du personnel et du matériel nécessaires aux essais d'aérogénérateurs de classe MW. Il faudrait former un partenariat avec l'un des grands centres européens d'essais.
- La création d'un sous-comité de la fabrication d'aérogénérateurs à l'ACÉÉ.
- La mise en application d'une méthode simple de mesure afin de quantifier les résultats du programme, relatifs au contenu canadien, aux exportations, à la création d'emplois et à l'état des projets de R-D, pour évaluer chaque année les incidences du programme sur l'économie du Canada. Cette évaluation s'inscrit dans une activité essentielle et plus vaste visant la collecte et la tenue de données

financières concernant l'industrie. L'ACÉÉ est très intéressée à collaborer avec Industrie Canada en cette matière.

Annexe 1 : Aérogénérateurs installés au Canada, par fabricant et par type

Situation en août 2004

Type de turbine	Puissance selon la plaque matricule (kW)	Nombre de turbines	Puissance totale (MW)	Année d'installation
Bonus (Danemark)	150	1	0,15	1993
Kenetech 33M (ÉU.)	360	52	18,7	1993
Kenetech 33M (ÉU.)	375	5	1,9	2000
Tacke Tw600 (Allemagne)	600	1	0,6	1995
NEG Micon (Danemark)	900	1	0,9	2001
NEG Micon (Danemark)	750	133	102	1998, 1999
Vestas V40 (Danemark)	600	4	2,40	1997, 1998
Vestas V47 (Danemark)	660	123	152,5	2001–2003
Vestas V80 (Danemark)	1 800	53	96	2001–2004
Vestas V90 (Danemark)	3 000	1	3	2003
Enercon (Allemagne)	600	1	0,6	2001
Nordex (Allemagne)	1 300	20	26	2001
Turbowind (Belgique)	600	1	0,6	2002
Lagerwey (Pays-Bas)	750	2	1,5	2003, 2004
Jeumont (France)	750	3	2,25	2003
GE Energy (ÉU.)	1 500	20	30	2004
Puissance totale			439	

Source : ACÉÉ. canwea.ca/fr

Nota: GE Wind a installé le premier aérogénérateur de 1,5 MW durant l'été de 2004.

Puissance installée par fabricant (octobre 2004)					
	Turbine	Puissance	Puissance totale		
Vestas/NEG Micon (Danemark)			354,16 MW		
1	V90	3 MW	3 MW		
53	V80	1,8 MW	96 MW		
231	V47	660 kW	152,46 MW		
3	V44	$600 \mathrm{kW}$	1,8 MW		
133	NM750	750 kW	102 MW		
1	NM900	900 kW	0,9 MW		
Nordex (Allemagne)					
20		1,3 MW	26 MW		
Kenetech					
52	33M	360/375 kW	21,4 MW		
Jeumont (France)					
3	J48	750 kW	2,25 MW		
Lagerwey (Hollande)					
2		750 kW	1,5 MW		
Tacke (Allemagne)					
1	TW-600	600 kW	0,6 MW		
Enercon (Allemagne)					
1	E40	600 kW	0,6 MW		
Turbowind (Belgique)					
1	T600	600 kW	0,6 MW		
GE Energy					
20	GE-1.5	1,5 MW	30 MW		
Total			439 MW		

Source : ACÉÉ. canwea.ca/fr

Annexe 2 : Structure des coûts d'un parc d'éoliennes ordinaire de 30 MW sur 20 ans d'exploitation

1.0 Structure des coûts

Sommaire

Total	100,0 %	73 millions \$
Exploitation — 20 ans	37,0 %	27 millions \$
Construction — 1 an	61,6 %	45 millions \$
Préparation du projet — 2 ans	1,4 %	1 million \$

1.1 Coût de préparation d'un projet de parc d'éoliennes de 30 MW

- Étude géologique et évaluation de la ressource éolienne
- Étude du bruit

Coût par kW

- Évaluation des incidences environnementales
- Permis de construire
- Conception du parc d'éoliennes
- Conception de l'interconnexion
- Diligence raisonnable

Total 1 million \$

1.2 Coût de construction d'un projet de parc d'éoliennes de 30 MW

Coût total du par	c d'éoliennes		45 millions \$
Dépenses imprévu	ies	3 %	1,2 million \$
Contentieux, financement et assurance			1,1 million \$
Supervision locale de la construction			0,4 million \$
•	oteaux de 3 km	0,6 million \$	
de transfor		0,3 million \$	
	xion au poste		
o sous-statio	n au parc	1,8 million \$	3,7 millions \$
o système co	ollecteur	1,3 million \$	
 transforma 	teur élévateur	1 million \$	
Interconnexion éle	ectrique :		
Chemins d'accès			1 million \$
Installation et mis	1 million \$		
Grutage	2,4 millions \$ 1,5 million \$		
Transport			
Fondations	2,7 millions \$		
Éoliennes, prix dé	30 millions \$		
Cour de Consti	action a an pro	rjet de parc d'éone	illies de 30 ivivv

1 500 \$

Ventilation des coûts d'un aérogénérateur

A. Montage de la nacelle		60 %
Moyeu de rotor	4,0 %	
 Roulement des pales 	1,5 %	
 Hydraulique du pas de pale 	2,0 %	
 Roulement de rotor et capot 	2,0 %	
 Arbre de rotor 	2,0 %	
 Freins de rotor 	1,5 %	
 Boîte d'engrenage principale 	12,0 %	
 Arbre de haute vitesse (avec embrayage) 	1,0 %	
 Alimentation hydraulique 	1,0 %	
 Ossature de base de la nacelle, palier porter 	ur 5,0 %	
• Capot et girouette de nacelle (FRP)	3,0 %	
 Équipement et système auxiliaire 	2,0 %	
 Système d'orientation (avec roulements) 	4,0 %	
 Alternateur et inverseur 	10,0 %	
 Système de commande et de surveillance 	4,0 %	
 Montage de la nacelle (en usine) 	5,0 %	
B. Pales de rotor		16 %
C. Tour		15 %
D. Fondations		9 %
Total		100 %

1.3 Coût d'exploitation d'un parc d'éoliennes de 30 MW

Service annuel récurrent d'un parc d'éoliennes de 30 MW (prix sortie d'usine de 30 millions \$ CAN)

Élément	% du prix sortie d'usine	20 ans de fonctionnement
Marché d'entretien	0,50 %	3 millions \$
Réserves pour réparations	2,25 %	13,5 millions \$
Assurance	0,50 %	3 millions \$
Baux fonciers	0,75 %	4,5 millions \$
Contrôle et gestion	0,50 %	3 millions \$
Total du coût d'exploitation	4,50 %	27 millions \$

Annexe 3 : Spécimen du questionnaire utilisé dans le cadre de l'étude

Questionnaire d'entrevue auprès des fabricants canadiens actuels et potentiels de composants d'aérogénérateurs

Nom de l'entre	eprise Em	plois
Lieu	Ing	énierie
Pour renseigner	ments Tai	lle de l'usine
Téléphone	Adı	resse Web
Produits princip	paux	
	e fabrique-t-elle actuellement des composants Dui Non	s d'aérogénérateurs?
Question 2: Quels composate fabriquer?	nts d'aérogénérateurs fabriquez-vous actuelle	ement ou envisagez-vous de
Quels composa	nts d'aérogénérateurs fabriquez-vous actuelle	ement ou envisagez-vous de
Quels composa		· ·
Quels composa	Pales de rotor	☐ Tours
Quels composa	☐ Pales de rotor ☐ Boîtes d'engrenage	☐ Tours ☐ Arbres primaires
Quels composa	☐ Pales de rotor ☐ Boîtes d'engrenage ☐ Alternateurs	☐ Tours ☐ Arbres primaires ☐ Capots et girouettes de nacelle
Quels composa	☐ Pales de rotor ☐ Boîtes d'engrenage ☐ Alternateurs ☐ Axes de lacet	☐ Tours ☐ Arbres primaires ☐ Capots et girouettes de nacelle ☐ Armoires électriques

A.	A quelles conditions envisageriez-vous de lancer votre entreprise dans la fabrication de composants ou d'étendre vos activités?				
	Obtention d'une	licence pour un composant éprouvé.			
	Formation d'un composants.	e coentreprise avec un fabricant actuel de			
В.	Autres conditions (prière de pré	ciser)?			
Ques	stion 4 :				
	otre entreprise fabrique déjà des con elles ou auraient-elles lieu?	mposants ou envisage de le faire, où ces activités			
	Ontario	Région de l'Atlantique			
	Québec	Provinces de l'Ouest			
Ques	stion 5 :				
-	quels des fabricants suivants d'aérog me des clients potentiels?	générateurs (équipementiers) considérez-vous			
	☐ Vestas ☐ Gar	nesa			
	☐ GE Wind ☐ RE _I	oower			
	Enercon Aut	res (préciser)			
Ques	stion 6 :				
Quel	s sont les arguments pour et contre	la fabrication de composants d'aérogénérateurs?			
	POUR	CONTRE			
	1.	1.			
	2.				
	3.	3.			
	Δ	4			

	5.	5.
Quest	ion 7 :	
A.	-	fficultés prévoyez-vous en ce qui touche la fabrication de composants érateurs au Canada?
		Manque de compétences techniques
		Insuffisance des investissements (privés et gouvernementaux)
		Concurrence imbattable des multinationales
		Difficulté à trouver des clients
		Nombre insuffisant de commandes de longue durée
		Autres (préciser)
Quest	 ion 8 :	
		es initiatives le gouvernement devrait-il lancer pour faciliter la mise en ns de montage au Canada?
		Incitatifs (prière de préciser) :
		Financement de la R-D et de la commercialisation, PARI
		Création d'un marché par l'entremise de l'EPEE
		Expansion et simplification de l'EPEE
		Encouragements fiscaux
		Fonds pour la formation et les transferts de technologie
		Missions commerciales pour trouver des partenaires ou encore des concédants

	Autres
	Règlements et politiques (prière de préciser)
	Législation imposant un contenu canadien minimal
	Législation concernant l'accès réseau
	Législation sur les échanges d'émissions de GES
	NPER
	Autres
Question 9:	
Autres commentain	res sur la question

Annexe 4 : Liste des entreprises incluses dans l'enquête

Le 4 octobre 2004

AAER Systems Inc.

Fabricant potentiel d'aérogénérateurs sous licence de Fuhrländer (Allemagne).

Renseignements: Dave Gagnon, PDG

Algoma Steel (Ontario)

Grande aciérie intéressée à la fabrication de tours et à l'approvisionnement en plaques d'acier

Renseignements : Paul Finley, John Naccarato (*Nota* : Algoma n'a pas répondu au questionnaire.)

August Friedberg

Fabricant de systèmes de fixation pour les industries de l'aérogénérateur et de l'automobile.

Renseignements: Uwe Hasselmann

(*Nota* : Cette entreprise n'est pas intéressée à des activités de fabrication ou de coentreprises au Canada pour le moment.)

AWE (Toronto) et Lagerwey (Hollande)

Fabricant potentiel sous licence de Lagerwey (Hollande) d'aérogénérateurs de 750 kW à entraînement direct.

Renseignements: Frank Pickersgill

Canadian Projects Ltd., Calgary (Alberta)

Ingénierie et gestion de projets, prestation de services.

Renseignements : Cal Christenson Site Web : www.canprojects.com

Centra (Ontario)

Usinage de gros composants pour l'aérospatiale. L'entreprise est intéressée à des renseignements plus complets sur les possibilités en fabrication d'aérogénérateurs et de composants.

Renseignements: Heidie

Composotech Inc. (Ontario)

Manufacturier de pièces en composite, intéressé à la fabrication de pales sous licence de la Euros (Allemagne).

Renseignements: Mike Jeffrey, président

Délégué commercial du Danemark, Montréal

Appui au transfert de technologie, à l'organisation d'une mission commerciale et à l'établissement d'une coopération entre le TEEA et l'organisme Risø du Danemark.

Renseignements: Tomas Bruun

Eickhoff Maschinenfabrik GmbH (Allemagne)

Fabricant de boîtes d'engrenage et de gros moulages pour aérogénérateurs.

Renseignements : E. Conrad

(*Nota* : La société Eickhoff ne prévoit pas monter d'usine de fabrication au Canada pour le moment et ne peut pas répondre au questionnaire.)

EMS GmbH (Allemagne)

Fabricant d'amortisseurs de vibration; intéressé à exploiter une usine au Canada.

Renseignements: Franz Mitsch

Enercon (Allemagne)

Fabricant d'aérogénérateurs de 300 kW, 600 kW, 2 MW et 4,5 MW; principal fournisseur allemand de systèmes de dessalement, éolien-diesel et éolien-hydrogène. Prévoit assister à la conférence de l'ACÉÉ. Intéressé à tenir des entretiens à Montréal.

Renseignements: Michael Weidemann

ESAB (Ontario)

Distributeur de matériel de fabrication automatisée des tours d'éolienne, et de services de soutien à la mise en place de capacités manufacturières de calibre mondial dans ce domaine.

Renseignements: Richard Hadley

Euros (Allemagne)

Concepteur et fabricant de pales de rotor pour éoliennes de 600 kW à 5 MW; éventuel concédant de licence et partenaire de coentreprise pour la Composotech (Ontario).

Renseignements: Michael Wolf

Fabspec (Québec)

Fabricant de produits sidérurgiques, intéressé à la fabrication de tours et au montage de nacelles.

Renseignements: Yves Lecompte

Fuhrlaender (Allemagne)

Fabricant d'aérogénérateurs, en contact avec la société AAER, de Montréal, en vue de l'octroi d'une licence de fabrication d'éoliennes (prototypes) de 30 kW, 100 kW, 250 kW, 1 000-800 kW, 1,5 MW et 2,5 MW.

Renseignements: Jahn Ross

Gamesa Eolica (Espagne)

Fabricant d'aérogénérateurs de 660 kW, 1,8 MW et 2 MW. Renseignements : Eduardo Roquero, directeur commercial

Gastops (Ottawa)

Fabricant de systèmes de commande de moteur pour l'aérospatiale; vend actuellement un système de surveillance des déchets pour aérogénérateurs et est intéressé à acquérir un système de surveillance d'état.

Renseignements: Dave Muir

Georgian Windpower (Ontario)

Promoteur d'un projet de parc industriel pour l'énergie renouvelable sur les bords du lac Érié.

Renseignements: Michael Monette

GEQ, Hélimax Énergie (Québec)

Consortium ayant déjà monté trois éoliennes Jeumont de 750 kW. Atelier et services de conseil.

Renseignements: Richard Legault

GE Canada/Energy

Fabricant d'aérogénérateurs de 900 kW, 1,5 MW, 2,3-2,5-2,7 MW et 3,6 MW.

Envisage la mise sur pied d'une usine de montage. Installations au Québec, en Ontario et dans l'Ouest canadien.

Renseignements : Simon Olivier, Montréal; Derek Lim & Soo, Marcel Armanene, Mississauga (Ontario).

Hitachi Industries (Saskatchewan)

Manufacturier de produits sidérurgiques, fabrique actuellement des tours d'éoliennes de 1,8 MW.

Renseignements: Denise Frey

Irving Oil (Nouveau-Brunswick)

Grand groupe industriel s'intéressant à la fabrication de tours et de turbines sous licence. Renseignements : John Salvage

KTR (Allemagne)

Fabricant de couplements et d'appareils de mesure de couple, concédant potentiel de licence à la société ODG, de Hamburg (Ontario).

Renseignements: Norbert Partmann

Marmen Inc. (Québec)

Manufacturier de produits sidérurgiques, fabrique des tours pour les turbines de classe MW.

Renseignements : Patrick Pellerin, président

Maxfield Inc. (Alberta)

Manufacturier de produits sidérurgiques, intéressé à fabriquer des tours.

Renseignements: Tony Giasson

Metal World (Terre-Neuve)

Manufacturier de produits sidérurgiques, intéressé à fabriquer des tours.

Renseignements: Ivan Butler

Metso Drives (Ontario et Finlande)

Fabricant de boîtes d'engrenage et de gros moulages pour les aérogénérateurs de classe MW.

Renseignements: Shannon Barber, Cambridge (Ontario)

(*Nota* : Shannon a l'intention d'assister à la conférence de l'ACÉÉ à Montréal, en octobre 2004.)

Ontario Drive and Gear (Ontario)

Fabricant de véhicules tous terrains, d'engrenages petits et moyens; s'intéresse à la fabrication de couplements sous licence de KTR (Allemagne).

Renseignements: Norbert Benik, vice-président

Powerhouse Controls (Ontario)

Fabricant de systèmes de commande industriels, s'intéresse au montage des armoires de commande.

Renseignements: Neil Nicholson

REpower (Allemagne et Canada)

Fabricant d'aérogénérateurs de 600 kW, 750 kW, 1,5 MW, 2 MW et 5 MW.

Renseignements: Theodor Peters

RJS Mechanical Inc. (Oshawa, Ontario)

Entrepreneur polyvalent d'installation d'aérogénérateurs; a participé à l'aménagement de huit parcs d'éoliennes au Canada.

Renseignements: Robert Scoffield

(*Nota* : RJS n'a pas répondu au questionnaire.)

SKF Canada (Ontario)

Distributeur de roulements pour aérogénérateurs et fournisseur de systèmes de surveillance d'état.

Renseignements: John Kupka

TM4 Inc., Boucherville (Québec)

Membre d'Hydro-Québec, intéressé à fabriquer des éoliennes à entraînement direct.

Renseignements: Mirvil Bruno

Tritt-Voigt (Ontario)

Manufacturier de produits sidérurgiques, intéressé à fabriquer des tours.

Renseignements: Jeff Voight

Turbowinds (Canada et Belgique)

Fabricant d'aérogénérateurs de 600 kW.

Renseignements: George Klass

(Nota: Turbowinds n'a pas répondu au questionnaire.)

Vensys (Allemagne)

Fabricant d'aérogénérateurs de 1,2 MW à entraînement direct, concédant potentiel de licence.

Renseignements: Hugo Denker, F. Klinger

Vestas (Danemark)

Fabricant d'aérogénérateurs de 660 kW, 1,8 MW et 3 MW.

Renseignements: Hugh Campbell

Weier Electric (Allemagne)

Fabricant d'alternateurs pour aérogénérateurs de 5 MW ou moins et d'armoires de commande.

Renseignements: Michael Roether

(*Nota* : La société serait intéressée, au départ, à ouvrir un centre de services pour ses produits en Amérique du Nord, en coentreprise avec un partenaire canadien.)

Wind to Energy (Allemagne)

Firme d'ingénierie, a construit un prototype d'éolienne de 2,5 MW; concédant potentiel de licence.

Renseignements: Christoph Klewitz, Jan Ross

Xantrex Technology Inc.

Fabricant d'inverseurs pour l'énergie renouvelable, y compris les aérogénérateurs de 1,5 MW ou moins.

Renseignements: Bernd Kohlstruck

Annexe 5 : Fabricants d'aérogénérateurs et de composants au Danemark

SOCIÉTÉ	ADRESSE WEB	RENSEIGNEMENTS
A.C Lemvigh-Müller	www.aclm.dk	Jørgen Lemvigh-Müller
A H Bolte A/S	www.ah-bolte.dk	Henrik Pander
A2Sea	www.a2sea.com	Kurt E. Thomsen
ABB A/S	www.abb.dk	Erik Koldby Nielsen
ABB A/S	www.abb.dk	Carl-Peter Andersen
ABB Vetco Gray Denmark	www.abb.com/vetcogray	Per Bak
Allerup Teknik A/S	www.allerup-teknik.dk/choose-dk.html	Jesper Skalshøj
Arvid Nilsson Danmark A/S	www.arvidnilsson.com	Peter Korremann
AVN Hydraulik A/S	www.avn.dk	Jørgen Rose
Bach Composite Industry A/S	www.bach-ci.dk	Geert Winther Skovsgaard
Baltship A/S	www.baltship.dk	Flemming Rung
Barsmark A/S	www.barsmark.com	Poul-Erik Andersen
Birk & Boe A/S	www.niras.dk	Flemming H. Jensen
Bladt Industries A/S	www.bladt.dk	Carsten Nielsen
Bonus Energy A/S	www.bonus.dk	Henning Kruse
BTM Consult ApS	www.btm.dk	Birger T. Madsen
C. Breinholt A/S	www.iat.dk/breinholt	Morten Kamp Knudsen
Center For Underleverandører	http://www.hih.dk/Default.asp?ID=14	Peter Aarø Rasmussen
C.C. Jensen A/S	www.cjc.dk	Knud Erik Hansen
COWI	www.cowi.dk	Torben Søgaard Jensen
Dafa A/S	www.dafa.dk	Klaus Østerberg
Danish Technology Center Aps	www.d-tech.dk	
Dansk Hydraulisk Institut	www.dhi.dk	Vagner Jacobsen
Dansk Metal	www.danskmetal.dk	
Dansk Overflade Teknik	www.dot.dk	
DELTA	www.delta.dk	Henrik Andersen
Densit A/S	www.densit.com	Lars Mogensen
Desitek A/S	www.desitek.dk	
DFDS Transport A/S - Project Division	www.dfds.dk	Thomas Hostrup
Diab Aps	www.diabgroup.com	
Elsam Engineering A/S	www.elsam-eng.com	Bent Jørgensen

EMD-Energi og Miljødata	www.emd.dk	Anders Barsk
ENERGI E2 A/S	www.e2.dk	Lars Woller
Energistyrelsen	www.ens.dk	Peter Schrøder
enXco A/S	www.enxco.com	
E. Søndergård	www.e-sondergaard.dk	
ESSCANO POWER A/S	www.esscano.dk	Kim Bovien
FAG Sales Europe-Denmark	www.fag.dk	
Fyns Coating ApS	www.fyns-coating.dk	Allan Osther
Fyns Kran Lifting	www.fyns-kran.com	
Gardit A/S	www.gardit.dk	lb Johanson
Garre Transformere AS	www.garre.dk	
Greentech Energy Systems A/S	www.greentech.dk	Kaj Larsen
Hallkvist Trading Aps	www.hallkvisttrading.dk	
Hans Buch A/S	www.hansbuch.dk	
Hefa A/S	www.hefa.dk	
HEMPEL A/S	www.hempel.dk	Bjarne Lous
H.J. Hansen	www.hjhansen-genvinding.dk	
Hytor A/S	www.hytor.dk	Finn Høst
Ib Andresen Industri A/S	www.iai.dk	
Indutrans A/S	www.indutrans.dk	Per Koch
Jysk Vindkraft	www.jyskvindkraft.dk	Ole Bundgård Jensen
Jørgensen og Utoft A/S	www.jorgensen-utoft.dk	
K. P. Komponenter	www.kpkomponenter.dk	Martin Andersen
KK-Electronics A/S	www.kk-electronic.dk	Lars Sloth
Krangården	www.krangaarden.dk	
LM Glasfiber A/S	www.lm.dk	Anders D. Christensen
LMG Stål A/S	www.lmg.dk	
Mita-Teknik A/S	www.mita-teknik.com	Nils Rosted
Niebuhr Tandhjulsfabrik A/S	www.niebuhr.dk	Rasmus Niebuhr
Nordex A/S	www.nordex.com	Claus Poulsen
Nordmark-Maskinfabrik A/S	www.nordmark-maskinfabrik.dk	Ejnar Jacobsen
Norwin A/S	www.norwin.dk	Per Lading
Ocean Team Scandinavia as	www.oceanteam.dk	Jens Peder H. Thomsen
Offshore Center Danmark	www.offshorecenter.dk	Peter Blach
Oiltech AS	www.oiltech-olaer.dk	
Parker Hannifin Danmark A/S	www.parker.dk	

David Harriman Andreas		
Poul Houman Andersen		
P.N. Erichsen A/S	www.pne.dk	Olaf Erichsen
PETER HARBO A/S	www.harbo.dk	Claus Harbo
PMC Technology A/S	www.pmctechnology.dk	
Rautaruukki Danmark	www.rautaruukki.dk	
Reichhold Danmark A/s	www.reichhold.com	
ResQ A/S	www.resq.no	Erik Jacobsen
Roug A/S	www.roug.dk	
Sandvik A/S	www.sandvik.com	
Scanvib ApS	www.scanvib.dk	
Schneider Electric A/S Danmark	www.schneider-electric.dk	
SEAS Wind Energy Centre	www.seas.dk	Svend Richman
Siemens A/S	www.siemens.com	
Silkeborg Spåntagning A/S	www.mssp.dk	
Sika Danmark A/S	www.sika.dk	Per Eskildsen
SKF Danmark A/S	www.skf.com	Inge Aasheim
Svendborg Brakes A/S	www.svendborg-brakes.dk	Lars Teil Johansen
Teknatex Aps	www.teknatex.dk	
Torben Rafn & Co A/S	www.torben-rafn.dk	
TIC Erhvervscenter Nordjylland	www.tic.dk	Johs Bruun Bindslev
Transport-teknik A/S	www.lpo.dk	
Tripod Consult Aps	www.tripod.dk	
Vestas Wind Systems A/S	www.vestas.com	Tom Pedersen
Vestergaard Marine Service	www.vms.dk	Morten Vestergaard
Viking Life-Saving Equipment A/S	www.viking-life.com	Pernille Kragh
Welcon A/S	www.welcon.dk	Jens Pedersen
Wincon West Wind A/S	www.wincon.dk	
YIT A/S	www.aalborgcomc.dk	J. Michael Hannibal
Orbital ApS	www.orbital.dk	Wolfgang W. Meyer
RISØ National Laboratory	www.risoe.dk	Flemming Rasmussen

Annexe 6 : Modèles d'éoliennes de 2 à 3 MW fabriqués à l'étranger

Modèle et type	Puissance (MW)	Taille du rotor (mètres)	État
Bonus 2 MW	2,0	76	Produit de série
Bonus 2.3 MW	2,3	82,4	Produit de série
DeWind D8	2,0	80	Produit de série
Enercon E66	2,0	70	Produit de série
Gamesa G-80	2,0	80	Produit de série
Gamesa G-83	2,0	83	Produit de série
Gamesa G-87	2,0	87	S.O.
GE 2.3	2,3	94	Prototype
GE 2.5	2,5	88	Prototype
GE 2.7	2,7	84	Prototype
MADE AE-80	2,0	80	S.O.
MADE AE-90	2,0	90	S.O.
Mitsubishi MWT-200S	2,0	75	S.O.
NEG Micon NM 80/2750	2,75	80	Produit de série
NEG Micon NM 92/2750	2,75	92	Produit de série
Nordex N80	2,5	80	Produit de série
Nordex N90	2,3	90	Produit de série
REpower MM70	2,0	70	Produit de série
REpower MM82	2,0	82	Produit de série
Suzlon	2,0	88	Prototype
ScanWind 3.0	3,0	90	Prototype
Vestas V80	2,0	80	Produit de série
Vestas V90	3,0	90	Produit de série
WinWind WWD-3	3,0	90	Prototype
Zephyros Z-72	2,0	71,2	Produit de série

Source : Bjoern Johnsen, « Wind Turbine Market 2004 », Sun Media, numéro de 2004, p. 72-76.

Bibliographie

- Association canadienne de l'énergie éolienne, *WindSight* [magazine trimestriel], Ottawa, ACÉÉ, septembre 2004 (diffusé à l'adresse http://www.canwea.ca/fr/WindSight.html).
- BTM Consult ApS., *World Market Update 2003*, Ringkøbing, Danemark, BTM Consult, 2004.
- European Wind Energy Association, *Wind Force 12*, Bruxelles, EWEA, Greenpeace, 2004 (diffusé à l'adresse **www.ewea.org/documents/WF12-2004_eng.pdf**).
- Hau, E., Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, and Economics, New York, Springer, 2000.
- Enslin, J., *In store for the future? Renewable Energy World*, James & James (Science Publishing) Ltd., 7(1), p. 104-113, 2004.
- Servos, A., Wind Energy Future Global Markets, A Ten Year Perspective, Wind Direction, mars-avril, European Wind Energy Association, Bruxelles 2004 (diffusé à l'adresse http://www.ewea.org/documents/wdmarch_lead.pdf).
- Synova International Business Development, *Manufacturing and Service Opportunities* for Canadian Companies in Large Turbines, Étude préparée pour le compte du Centre de la technologie de l'énergie de CANMET (CETC), Ottawa, Ressources naturelles Canada, 2002.
- WindPower Monthly, parutions en 2004 (diffusées à l'adresse http://windpower-monthly.com).