

Rapport public

Projet : RENE 042

Énergie éolienne VB (à pales virtuelles) – Sous-projet 1

Meilleur vent. Par conception.

Table des matières

Sommaire	3
Aperçu de l'industrie éolienne.....	4
Intention du projet et objectifs techniques	5
Résumé du projet	6
Travaux de R-D exécutés.....	6
Difficultés rencontrées	8
Résultats finaux.....	9
Avantages	11
Conclusions et recommandations	13
Projet proposé de démonstration à l'échelle pilote	14
Résultats attendus.....	14
Plan de mise en œuvre.....	15
Commercialisation	16
Renseignements supplémentaires.....	17

Le 12 juin 2015

Remarques :

1) *En ce moment, les renseignements concernant la technologie de l'énergie éolienne VB sont **confidentiels**. Ainsi, le présent rapport décrit le projet en détail général et explique la technologie sous l'angle des avantages éprouvés. De plus amples renseignements seront disponibles auprès de GTRenergy après la confirmation de l'intention ferme et la conclusion d'une entente de non-divulgence.*

2) *Le présent rapport a été produit grâce au soutien de Ressources naturelles Canada. Son contenu ne reflète pas nécessairement les opinions du gouvernement du Canada.*

Sommaire L'objectif du projet d'énergie éolienne à pales virtuelles (VB) était d'éliminer les risques techniques liés au passage d'une technologie éolienne VB du laboratoire au terrain, grâce à un essai sur le terrain à l'échelle de 5 kW avec une puissance de conception préliminaire de 65 kW. La portée initiale a été élargie au cours du projet pour inclure la conception d'une éolienne à pales virtuelles de 100 kW alors que la compréhension de la capacité réelle de la configuration unique de pale d'éolienne est devenue plus claire.

Les objectifs techniques du projet se résument comme suit :

- **Confirmer qu'une augmentation de la production d'énergie de 8 à 12 % est réalisable sur le terrain**
- **Quantifier et caractériser la réduction observée dans le bruit et les vibrations**
- **Augmenter la base de connaissances sur la technologie de pales virtuelles et les méthodes d'essai connexes**
- **Cerner les travaux de R-D nécessaires avant la démonstration à l'échelle réelle**

GTRenergy est heureux de signaler qu'une augmentation de la production d'énergie de 16 % a été réalisée sur le terrain, dépassant de loin les attentes, ainsi qu'une réduction de 5 dB(A) du bruit acoustique. La base de connaissances s'est considérablement améliorée grâce à la conception et la mise à l'essai de l'éolienne à pales virtuelles de 5 kW, et à la conception et le premier niveau d'optimisation des pales virtuelles de 100 kW. Il convient de noter que les nouvelles pales virtuelles sont compatibles avec les moyeux d'éolienne traditionnels, permettant une commercialisation généralisée. Cependant, la conception est encore aux étapes préliminaires, et plusieurs autres travaux de R-D ont été cernés pour optimiser le rendement, minimiser le coût et le poids, et atténuer les risques connexes avant la mise en place.

L'atteinte des objectifs du projet a entraîné une recommandation claire de procéder à une mise à l'essai à l'échelle pilote d'une éolienne à pales virtuelles de 100 kW. Cette prochaine phase critique permettra d'accélérer la commercialisation, comme prévu au début du projet. La validation externe provient d'un parc éolien à Tehachapi, en Californie, qui a déjà manifesté de l'intérêt à fournir un site d'essai d'éolienne à pales virtuelles de 100 kW, avant de modifier 250 de ses éoliennes Vestas V17 dont les pales sont défaillantes. Dans ce cas, les gains de rendement attendus sont réellement de l'ordre de 24 %, car les nouvelles pales virtuelles entraîneront le passage simultané à un générateur à aimant permanent et vitesse variable plus efficient. Il convient également de noter qu'un fabricant de pale d'éolienne bien établi a confirmé auprès de GTRenergy que les pales virtuelles de 100 kW peuvent être construites de façon économique en utilisant les méthodes et équipements existants.

Les prochaines étapes consistent à aborder les domaines de R-D supplémentaires, et à mettre en œuvre l'essai de l'éolienne à pales virtuelles de 100 kW à l'échelle pilote. Les résultats seront communiqués conformément aux normes IEC et AWEA, de la même façon que le projet actuel, afin de confirmer l'augmentation prévue de 24 % du rendement. GTRenergy est actuellement à la recherche d'un partenaire pour financer le prochain projet et partager les avantages, afin de réaliser le plein potentiel de la technologie d'énergie éolienne VB à contribuer à l'économie des technologies propres du Canada. GTRenergy souhaite également remercier RNCAN pour son soutien exceptionnel du projet actuel, qui aurait été impossible autrement.

Aperçu de l'industrie éolienne L'énergie éolienne constitue l'une des sources d'énergies renouvelables dont le taux de croissance est l'un des plus élevés au monde. Le Canada a donné le ton en 2014 en lançant 37 nouveaux projets éoliens d'un total de 1 871 mW, augmentant de 23,9 % la base d'éoliennes installées qui produisent actuellement 9 694 mW.

Cela représente environ 4 % de la demande nationale en électricité, soit une quantité suffisante pour alimenter plus de deux millions d'habitations (1). La croissance rapide de l'année dernière a mis le Canada à l'égalité avec les États-Unis, où 4,4 % de l'électricité est d'origine éolienne (2).

Malheureusement, ces chiffres demeurent loin des objectifs fixés par les deux pays. Sous le gouvernement Harper, le Canada s'est engagé à réduire de 17 pour cent ses émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2020, et cela ne peut être réalisé que par une augmentation considérable des sources d'énergies renouvelables. Par contre, certains universitaires indiquent que cela ne suffira pas, et mentionnent que toute la production d'électricité du pays pourrait et devrait provenir de sources renouvelables d'ici 2035 (3). En fait, le US Department of Energy (DOE) a publié des objectifs directs en matière d'énergie éolienne; 10 % d'ici 2020, 20 % d'ici 2030, et 35 % d'ici 2050 (4). Il est largement accepté que ces objectifs pourraient devenir plus agressifs durant le « parcours à Paris », c.-à-d. en préparation du Sommet mondial des Nations Unies sur le climat qui aura lieu à Paris en décembre 2015.

Bien que ces objectifs soient louables, ils pourront ne pas être réalisés sans que l'énergie éolienne ne devienne concurrentielle par rapport aux autres sources d'électricité. Cela correspond à l'objectif

de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de RN-Can énoncé au début de ce projet, qui consistait à appuyer l'innovation en matière de technologie de l'énergie afin de produire et de consommer l'énergie d'une manière plus écologique et plus efficace. Reconnaisant l'importance des technologies d'énergies renouvelables pour atteindre l'objectif, l'appel de propositions de l'Initiative comprenant, dans le cadre de sa portée, des travaux de recherche et de développement (R-D) jusqu'aux essais sur le terrain pour contribuer à la commercialisation accélérée d'innovations en matière d'énergies renouvelables comme la technologie VB. Le DOE des É.-U. s'est fixé le même objectif en énonçant que des réductions continues des coûts de l'énergie éolienne sont nécessaires pour améliorer la concurrence sur le marché avec les autres sources d'électricité et pour atteindre les objectifs d'énergie éolienne énoncés ci-dessus. Il s'agit d'un des messages clés du document « Wind Vision » publié récemment par le DOE des É.-U. (4).

À cette fin, il est important de noter que le résultat le plus significatif du présent projet était une augmentation confirmée de 16 % de l'efficacité d'éolienne grâce à la technologie VB. Cela aura un impact considérable sur l'industrie éolienne en raison du potentiel d'augmenter sensiblement la rentabilité des parcs éoliens, ce qui permettra à un grand nombre de sites actuellement non rentables de devenir viables sur le plan économique. **L'effet net sera une augmentation de la compétitivité de l'énergie éolienne.**

Références :

1. Association canadienne de l'énergie éolienne (CANWEA)
2. American Wind Energy Association (AWEA)
3. Globe & Mail, « Complete shift to renewable energy within Canada's reach, academics say » 18 mars 2015
4. US Department of Energy, « Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States »

Intention du projet et objectifs techniques

Il est important de noter que le présent projet a été précédé d'essais exhaustifs à la soufflerie de 9 m x 9 m du CNRC à Ottawa, en utilisant une éolienne Fortis Montana de 5 kW équipée de pales virtuelles.

Les résultats de ces essais se résument comme suit :

- **Le rendement a augmenté de 12,8 % après l'installation de pales virtuelles sur l'éolienne**
- **Les essais ont été réalisés jusqu'à la plage de nombres de Reynolds (Re) indépendants pour confirmer que la technologie de pales virtuelles peut être adaptée en installant de plus grandes pales**
- **Des essais supplémentaires sur le terrain sont recommandés, fondés sur l'optimisation de configuration de pale et un algorithme de contrôle**

Dans cette optique, le projet d'énergie éolienne VB visait à éliminer les risques techniques liés au passage de la technologie du laboratoire au terrain, grâce à un essai sur le terrain à l'échelle de 5 kW avec une puissance de conception préliminaire de 65 kW. La portée initiale a été élargie au cours du projet pour inclure la conception d'une éolienne à pales virtuelles de 100 kW alors que la compréhension de la capacité réelle de la configuration unique de pale est devenue plus claire.

Les quatre objectifs techniques qui suivent ont été définis au début du projet :

- **Confirmer qu'une augmentation de la production d'énergie de 8 à 12 % est réalisable sur le terrain**
- **Quantifier et caractériser la réduction observée dans le bruit et les vibrations**
- **Augmenter la base de connaissances sur la technologie de pales virtuelles et les méthodes d'essai connexes**
- **Cerner les travaux de R-D nécessaires avant la démonstration à l'échelle réelle**

Résumé du projet

Travaux de R-D exécutés Les travaux de R-D ont débuté par une nouvelle conception d'éolienne à pales virtuelles de 5 kW modifiée pour la mise à l'essai sur le terrain. Le plus important domaine à examiner était la conception de la queue, qui devait être modifiée pour l'adapter à l'augmentation du couple de lacet produit par les pales virtuelles, tel qu'observé dans le cadre des essais au CNRC.

La queue modifiée a été mise à l'essai à l'installation éolienne de l'Université de Waterloo pour assurer qu'elle fonctionnera bien sur le terrain. D'autres éléments de la nouvelle conception comprenaient une nacelle pour protéger contre les intempéries, un dispositif de conversion de puissance pour assurer la connexion au réseau, et l'algorithme de contrôle de la charge connexe. Cependant, il est important de noter que la configuration de pale virtuelle est restée exactement la même que lors des essais au CNRC, afin de valider les résultats des essais sur le terrain.

Une fois la nouvelle conception terminée, les composants nécessaires ont été construites, montées et mises à l'essai avant l'envoi de l'éolienne à l'Institut de l'énergie éolienne du Canada (IEEC) pour les essais sur le terrain. L'éolienne VB de 5 kW a été mise en place avec un mât météorologique pour mesurer la vitesse et la direction du vent et d'autres conditions environnementales. L'installation a été suivie d'une période de mise en service pour assurer le bon fonctionnement de l'éolienne d'essai, des instruments connexes et des enregistreurs de données avant de procéder à l'essai.

L'éolienne d'essai VB de 5 kW a été mise en service le 1er décembre 2014 et la période d'essai s'est terminée le 28 mars 2015. Il est important de souligner que la disposition du site et les procédures d'essai ont été suivies de près afin d'assurer la conformité aux normes IEC 61400-12 et AWEA 9.1-2009, en référence à la norme IEC 61400-11. Cela a permis de comparer les résultats d'essai de l'IEEC aux résultats de base pour l'éolienne du fabricant d'origine obtenus par Intertek, fondés sur les mêmes normes. Les résultats de la comparaison peuvent se résumer comme suit :

- **Augmentation de 16 % de la production annuelle d'énergie (PAE) grâce à la technologie VB, dépassant considérablement l'objectif du projet qui se situait entre 8 et 12 %**
- **Réduction de 5 dB (A) des émissions de bruit acoustique**

Résumé du projet

Les travaux supplémentaires de R-D comprenaient la conception de pales virtuelles de 100 kW pour utilisation dans le cadre d'une démonstration commerciale de la technologie. La première étape du processus consistait à adapter un modèle existant d'éléments de pale (Blade Element Momentum) afin d'intégrer les aspects uniques des pales virtuelles et de prévoir avec exactitude le rendement de l'éolienne VB. Dans ce cas, le logiciel sous-jacent était le WT-Perf, obtenu auprès du US National Renewable Energy Lab (NREL) et modifié par la suite avec leur assistance. L'exactitude du code adapté a ensuite été validée contre les résultats des essais en soufflerie de 5 kW du CNRC, pour assurer de pouvoir déterminer de façon raisonnable le rendement des pales virtuelles de 100 kW modifiées.

Une conception préliminaire VB a été mise au point en utilisant la gamme de profils de rotor « épais » S819/820/821 du NREL pour les pales de 100 kW, et ensuite modélisée avec le code adapté du modèle d'éléments de pale pour déterminer son rendement et ses caractéristiques de charge. Par la suite, la pale a été combinée à un générateur à aimant permanent à vitesse élevée convenable et d'autres composantes afin de parvenir à une solution de modification complète de 100 kW pour des éoliennes existantes comme les éoliennes Windmatic 15s/17s ou Vestas V17. Une évaluation technique préliminaire a été réalisée par Frontier Power Systems afin de confirmer la viabilité de la modification proposée.

La conception de pales virtuelles de 100 kW a ensuite été optimisée en utilisant des logiciels de dynamique numérique des fluides et d'analyse par éléments finis fournis par Autodesk, partenaire du projet. Ces outils ont permis de confirmer que la conception de pales virtuelles pourrait en effet être mise en œuvre en utilisant la gamme de profils de rotor « minces » S805A/806A/807 de NREL tout en maintenant l'intégrité structurelle nécessaire, réduisant donc la masse globale des pales sans nuire au rendement.

Difficultés rencontrées Quelques difficultés importantes ont été rencontrées au cours de l'exécution des travaux de R-D, résumées ci-dessous :

Essais de base Des problèmes liés au fonctionnement et à l'équipement ont posé problème durant les essais de base qui ont été prévus au début du projet. Cependant, on a découvert que les données de base requises et les données acoustiques conformément à la norme IEC 61400 étaient facilement accessibles en ligne. Cela a permis de mener à bien le projet sans la nécessité de régler les difficultés susmentionnées. En outre, le temps supplémentaire a permis d'optimiser davantage la conception de pale virtuelle de 100 kW, afin d'améliorer le rendement et de réduire le poids tout en maintenant l'intégrité structurelle nécessaire.

Modélisation de la dynamique numérique des fluides

Les aspects uniques de la conception de pale virtuelle ont présenté des difficultés initiales concernant la modélisation de la dynamique numérique des fluides au moyen d'outils comme OpenFOAM, qui tendaient à surévaluer la traînée et à retarder le point de décrochage. Par conséquent, on devait utiliser la soufflerie plus souvent que prévu afin de déterminer les caractéristiques de portance et de traînée de chaque section de pale. Les données expérimentales obtenues ont servi de base pour le modèle adapté de dynamique numérique des fluides. Cependant, la situation a changé lorsque GTRenergy est devenue partenaire d'Autodesk Cleantech au cours du projet. Autodesk offrait un accès à des outils de dynamique numérique des fluides et d'analyse par éléments finis qui avaient la capacité de modéliser la configuration de pale virtuelle. Cela a donné l'avantage de valider les résultats de modélisation de la dynamique numérique des fluides par rapport aux résultats des essais de soufflerie pour assurer une plus grande certitude.

Résultats finaux Les résultats finaux peuvent être le plus clairement présentés, par rapport aux objectifs du projet, comme suit :

Objectif 1 *Confirmer qu'une augmentation de la production d'énergie de 8 à 12 % est réalisable sur le terrain.*

En effet, les résultats du projet ont confirmé une **augmentation de 16 % de la production annuelle d'énergie (PAE)**, dépassant l'objectif original du projet qui se situait entre 8 et 12 %, selon les sources suivantes :

Configuration	Source	N° de rapport	PAE (kWh)*	% d'augmentation
Fabricant d'origine	Intertek	1001460CRT-003	9,114	
Pale virtuelle modifiée	IIEEC	5025-001	10,578	16.06%

**Données sur la PAE extrapolées en fonction des normes AWEA (6 m/s et masse volumique de l'air référentielle (1,225 kg/m³))*

Les résultats sont importants, car l'objectif clé du projet consistait à augmenter la production d'énergie éolienne, conformément à l'objectif de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation visant à appuyer l'innovation en matière de technologie de l'énergie afin de produire de l'énergie d'une manière plus écologique et plus efficace. L'ampleur de l'augmentation de 16 % aura un effet considérable sur l'industrie éolienne, car elle permettra d'augmenter de façon notable la rentabilité des parcs éoliens, de sorte qu'un grand nombre de sites actuellement non rentables deviendront viables sur le plan économique.

Objectif 2 *Quantifier et caractériser la réduction observée dans le bruit et les vibrations.*

La table suivante présente un résumé des résultats et confirme la **réduction de 5 db(A) du bruit acoustique** susmentionnée.

Configuration	Source	N° de rapport	Bruit (dB(A))*	Réduction (dB(A))
Fabricant d'origine	Intertek	1001460CRT-003	49.8**	
Pale virtuelle modifiée	IIEEC	5025-002	44.8	5.0

** Niveau sonore coté par l'AWEA ** Calculé d'après les résultats IEC 61400-11*

Les résultats sont importants parce que la réduction du bruit est un objectif critique dans la conception de toute éolienne. Il convient de noter que réduire le bruit acoustique tout en améliorant le rendement est difficile à réaliser, mais il s'avère que la technologie de l'énergie éolienne à pale virtuelle permet de le faire.

Objectif 3 *Augmenter la base de connaissances sur la technologie de pales virtuelles et les méthodes d'essai connexes.*

GTRenergy a produit plusieurs rapports pour documenter la découverte systématique, et l'augmentation subséquente, des connaissances liées à la technologie de pales virtuelles, permettant ainsi d'augmenter la base de connaissances et de réaliser l'objectif 3.

Ce résultat est important, car il a permis de déposer trois demandes de brevets provisoires américains supplémentaires, établissant des dates de dépôt antérieures pour des applications subséquentes non provisoires. Il contribuera également à la diffusion des connaissances en matière de technologies de pales virtuelles, une fois que les préoccupations de confidentialité liées à la propriété intellectuelle seront réglées. De plus amples renseignements sont disponibles auprès de GTRenergy suivant la confirmation de l'intention ferme et la conclusion d'une entente de non-divulgateion.

Objectif 4 *Cerner les travaux de R-D nécessaires avant la démonstration à l'échelle réelle.*

GTRenergy et ses partenaires ont produit plusieurs rapports et analyses supplémentaires afin de cerner les autres travaux de R-D nécessaires avant la démonstration à l'échelle réelle de la technologie d'éolienne à pales virtuelles, afin d'atteindre l'objectif 4. Ces rapports et analyses comprennent généralement une évaluation du rendement plus poussée, des modélisations avancées de dynamique numérique des fluides et d'analyse par éléments finis, une optimisation aéro-structurale, et des validations supplémentaires par des tiers. L'exécution de ces travaux de R-D permettra d'améliorer la conception, de contribuer à la planification de la démonstration, et d'atténuer les risques liés.

Prix d'innovation d'Oakville *Il convient également de noter que GTRenergy a reçu un Prix d'innovation d'Oakville en 2014.*

Bien que cette réalisation ne soit pas liée à un objectif particulier du projet, il est notable en raison du fait que les prix ont été créés pour reconnaître les entreprises d'Oakville ayant mis au point des produits ou services exceptionnels qui démontrent une recherche et un développement de pointe. Un groupe de sélection composé d'experts dans les domaines du génie, de la technologie, des finances, de l'académie et de R-D a examiné toutes les soumissions, et cinq entreprises d'Oakville ont été sélectionnées en reconnaissance de leurs contributions exceptionnelles en technologie et génie. Les Prix d'innovation d'Oakville ont été parrainés par Siemens, fabricant mondial d'éoliennes, et PricewaterhouseCoopers (PwC), la plus grande société de services professionnels du monde.

Avantages Les avantages ci-dessous ont été prévus au début du projet. Les états des avantages à la fin du projet sont également indiqués.

Confirmer le rendement et atténuer les risques liés au développement futur

Bénéficiaire **GTRenergy**
État **Réalisé**

Cet avantage est réalisé. Les résultats finaux des essais des pales virtuelles, c.-à-d. une augmentation de 16 % du rendement et une réduction moyenne de 5 db(A) des émissions de bruit, ont dépassé les prévisions. GTRenergy est donc dans une meilleure position que prévu pour entreprendre l'essai sur le terrain d'une éolienne de 100 kW et pour rehausser la valeur marchande potentielle. De plus, la base de connaissances renforcée et la détermination des travaux de R-D nécessaires avant de procéder permettent d'atténuer les risques liés au développement futur.

Acquérir davantage d'expertise grâce à la technologie de pales virtuelles

Bénéficiaires **GTRenergy et IEEC**
État **Réalisé**

Cet avantage est réalisé pour les deux bénéficiaires, en raison du transfert important des connaissances liées à l'IEEC au cours du projet. L'IEEC est donc mieux positionné pour abriter et gérer une démonstration potentielle à l'échelle réelle avec une éolienne Vestas V47 ou Enercon E48 dotée de pales virtuelles, suivant l'essai sur le terrain proposé d'éolienne de 100 kW. Des possibilités de commercialisation préliminaire pourraient en découler avec PEI Energy Corp pour modifier leurs éoliennes V47. L'IEEC a également recueilli des renseignements sur l'humidité relative au cours de l'essai d'éolienne à pales virtuelles de 5 kW, lui permettant de participer à l'élaboration de normes IEC qui pourraient

inclure ce paramètre dans les calculs de la masse volumique moyenne de l'air sur le site.

Rentabilité financière accrue pour les parcs éoliens existants au Canada

Bénéficiaire **Canada**
État **Pas encore réalisé**

On s'attendait à ce que cet avantage soit atteint seulement après la mise en marché réussie de la technologie. Par contre, les résultats d'essai mieux que prévu augmentent la probabilité d'atteinte, car les exploitants de parc connaîtront une augmentation de 16 % de leurs revenus, et la réduction des niveaux de bruit de 5 dB(A) augmentera l'acceptation des communautés.

Rentabilité accrue des parcs éoliens canadiens proposés

Bénéficiaire **Canada**
État **Pas encore réalisé**

Comme l'avantage ci-dessus, celui-ci devait être atteint après la mise en marché de la technologie. Dans ce cas, l'augmentation de 16 % des revenus permettra de réduire la période de remboursement associée à l'investissement en capital nécessaire pour un parc éolien. En outre, il est fort probable que la réduction des niveaux de bruit réduits de 5 dB(A) réduira les exigences relatives au retrait et améliorera les niveaux d'acceptation par la communauté. Ensemble, ces facteurs permettront à un grand nombre de sites antérieurement non rentables de devenir viables, augmentant ainsi la quantité d'électricité éolienne produite et contribuant à l'atteinte des objectifs du Canada en matière d'énergie renouvelable.

Croissance économique et nouveaux emplois au Canada

Bénéficiaire **Canada**
État **Pas encore réalisé**

La commercialisation de la technologie d'éolienne à pales virtuelles entraînera la croissance économique et la création de nouveaux emplois au Canada, grâce à la vente de composantes de pales virtuelles et des services connexes fournis aux parcs éoliens. Les pales destinées au marché national et certaines régions des États-Unis pourraient être fabriquées de façon économique au Canada, mais il serait peut-être plus avantageux de fabriquer les pales destinées à d'autres marchés plus près du site de montage en raison du coût élevé de transport. Par contre, il existe des possibilités stratégiques de fabriquer et d'exporter d'autres composantes à marge élevée comme des commandes et logiciels, car elles sont essentielles au rendement d'une éolienne à pales virtuelles et sont facilement transportables. Ce modèle opérationnel durable entraînera une plus forte croissance de l'économie des technologies propres du Canada, à mesure que les profits sont utilisés pour le développement de technologies éoliennes avancées.

Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)

Bénéficiaire **Canada**
État **Pas encore réalisé**

Bien que cet avantage ne soit pas mentionné explicitement au début du projet, il est important de noter qu'après la commercialisation, la technologie d'éolienne à pales virtuelles apportera une plus grande contribution à la réduction des gaz à effet de

serre par rapport aux éoliennes traditionnelles. Les effets peuvent être quantifiés en utilisant une éolienne de référence comme le modèle Enercon E-82 ayant un facteur de charge nominale de 35 %, pour refléter la moyenne des modifications à l'échelle commerciale et des nouvelles installations, qui pourrait s'étaler entre 800 kW et 4 MW au cours des 20 prochaines années. Cette éolienne, équipée de pales traditionnelles, produirait 6 132 MWh/an, ce qui remplace l'équivalent de 6 132 MWh/an produit actuellement par les génératrices alimentées aux combustibles fossiles. Les chiffres varient, mais il est raisonnable d'estimer que chaque kWh d'électricité produite à partir de combustibles fossiles génère 227 g de dioxyde de carbone au Canada (source : Veritec Consulting) ou 995 g de CO₂ dans d'autres régions du monde (source : UK Office of Science & Technology).

Ces chiffres peuvent servir à déterminer que la mise en place d'une éolienne Enercon E-82 dotée de pales traditionnelles permettrait de réduire les émissions annuelles de GES de l'ordre de 1 392 tonnes de CO₂ au Canada, ou jusqu'à 6 101 tonnes de CO₂ dans d'autres régions du monde. Il s'ensuit que l'avantage supplémentaire annuel associé à l'ajout de pales virtuelles équivaldrait à 16 % de ces montants, c.-à-d. 223 tonnes de CO₂ au Canada ou jusqu'à 976 tonnes de CO₂ ailleurs, entraînant de nouveaux totaux de 1 615 et 7 077 tonnes de CO₂, respectivement. Une analyse semblable peut être utilisée pour déterminer que l'ajout de pales virtuelles permettrait également de produire 14,93 tonnes de soufre de moins et 4,03 tonnes d'oxyde d'azote de moins par année dans la plupart des régions du monde, fondés sur des émissions de 15,2 g de SO₂ et 4,1 g de NO_x pour chaque kWh produit par des équipements à combustibles fossiles (source : UK Office of Science & Technology).

Conclusions et recommandations Il ressort des sections précédentes que tous les objectifs du projet ont été atteints, la base de connaissances sur la technologie d'éolienne à pales virtuelles est considérablement augmentée, et une voie claire a été établie pour des travaux de R-D futurs avant les mises à l'échelle subséquentes.

Par conséquent, la conclusion fondamentale que l'on peut tirer du projet, et donc la prochaine étape recommandée, est de procéder immédiatement à un essai de démonstration à l'échelle pilote d'une éolienne à pales virtuelles de 100 kW. En outre, d'après les connaissances et les renseignements sur le marché acquis au cours du projet, on peut conclure que la meilleure façon de mettre l'essai en application serait de modifier une éolienne Vestas V17 afin d'accélérer la commercialisation de la technologie. La validation externe provient d'un parc éolien à Tehachapi, en Californie, qui a déjà manifesté de l'intérêt à fournir un site d'essai de 100 kW, avant de modifier 250 de ses éoliennes Vestas V17 dont les pales sont défailantes.

Dans ce cas, les gains de rendement attendus sont réellement de l'ordre de 24 %, car les nouvelles pales virtuelles entraîneront le passage simultané à un générateur à aimant permanent et vitesse variable plus efficient. Il convient également de noter qu'un fabricant de pale d'éolienne bien établi a confirmé auprès de GTRenergy que les pales virtuelles de 100 kW peuvent être construites de façon économique en utilisant les méthodes et équipements existants.

Projet proposé de démonstration à l'échelle pilote

Résultats attendus Comme le montre la Figure 1, les courbes de puissance illustrent le rendement attendu d'une éolienne Vestas V17 dotée de pales virtuelles de 100 kW, par rapport à celui d'une éolienne Vestas V17 non modifiée.

Les deux lignes solides indiquent le rendement à une masse volumique d'air réduite de 1,06 Kg/m³, comme c'est typiquement le cas dans une région montagneuse comme Tehachapi, en Californie. Il convient de noter que pour la version d'éolienne du fabricant d'origine peut seulement être adaptée pour diverses altitudes en modifiant manuellement l'angle de calage au moment de la mise en place. L'éolienne modifiée avec pales virtuelles de 100 kW, par contre, peut être adaptée en changeant tout simplement le régime maximal de rotation dans l'algorithme de contrôle. Cela permet à l'éolienne modifiée de convenir beaucoup mieux aux installa-

tions situées au niveau de la mer jusqu'à un sommet de montagne, avec très peu d'incidence sur le rendement global. La Figure 1 inclut également les chiffres de production annuelle d'énergie (PAE) pour les deux éoliennes d'un parc particulier à Tehachapi, en Californie. Elle illustre une augmentation très considérable de 24,1 % liée à l'éolienne à pales virtuelles modifiée de 100 kW. Comme mentionné auparavant, cela reflète les avantages combinés des pales virtuelles (~16 %) et l'ajout d'un générateur à aimant permanent plus efficace (~8 %), lequel était possible grâce aux caractéristiques de vitesse variable des nouvelles pales virtuelles.

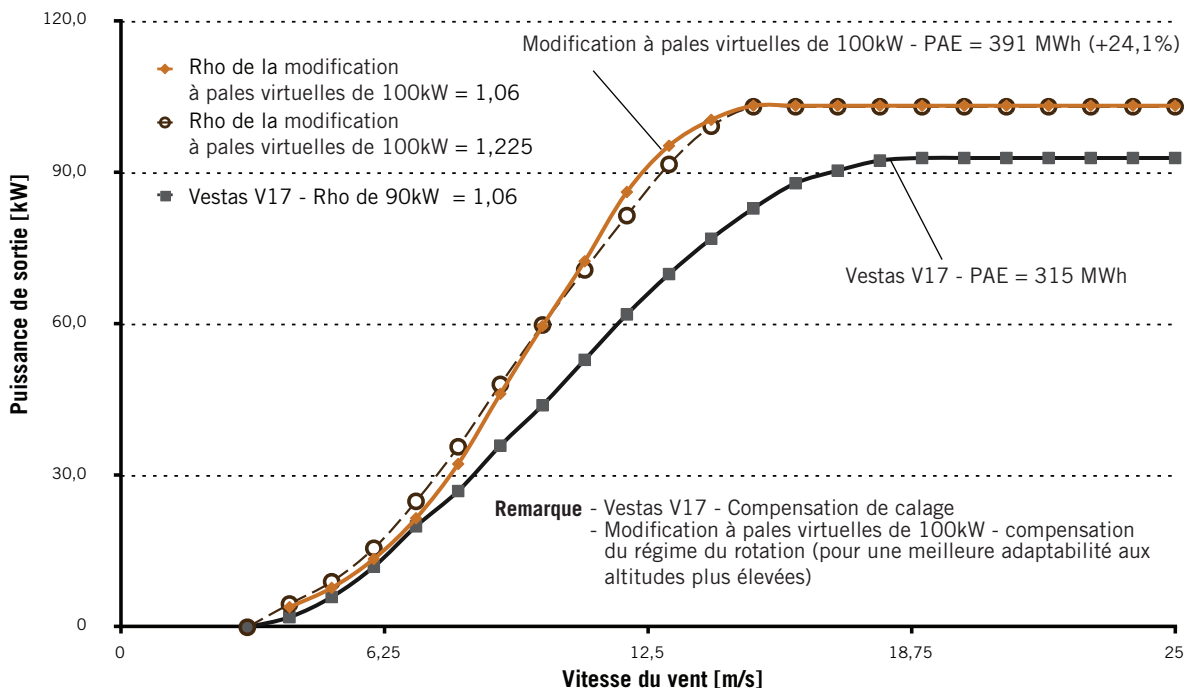


Figure 1 : Éolienne Vestas V17 de 100kW VB – Courbes de puissance estimées

Plan de mise en œuvre GTRenergy a défini les prochaines étapes ci-dessous, fondées sur la recommandation de procéder à une mise à l'essai à l'échelle pilote d'une éolienne à pales virtuelles de 100 kW sur une plateforme Vestas V17.

- **Optimisation aéro-structurale finale pour la conception de pale virtuelle de 100 kW.**
- **Sélection finale et / ou conception d'autres composants de modification comme le générateur à aimant permanent à vitesse élevée et le frein auxiliaire.**
- **Analyse finale de la charge et de structure avec un tour et une nacelle Vestas V17 (validation par un tiers).**
- **Caractériser le générateur à aimant permanent et développer une table de commande de la charge du convertisseur.**
- **Développer un algorithme de contrôle intégré, combinant les exigences de fonctionnement et de sécurité de l'éolienne Vestas V17 avec la table de commande de la charge du convertisseur.**
- **Installer et mettre en service une éolienne modifiée Vestas V17 à pales virtuelles.**
- **Concevoir et mettre en œuvre des essais IEC 61400 pour évaluer le rendement et l'acoustique.**
- **Terminer la mise à l'essai à l'échelle pilote de l'éolienne à pales virtuelles de 100 kW et produire des rapports à ce sujet.**
- **Mettre à jour la conception de modification d'éolienne à pales virtuelles de 100 kW, au besoin, avant la commercialisation.**

Commercialisation Le plan de commercialisation de cinq ans pour la technologie d'éolienne à pales virtuelles peut se résumer comme suit :

<i>Année</i>	<i>Jalons clés</i>
2016	Démonstration à l'échelle pilote (100 kW)
2017 – 2018	Mise en place des modifications 100 kW VB – États-Unis Élaborer une conception de pales virtuelles à l'échelle commerciale
2019 – 2020	Mise en place des modifications 100 kW VB – Europe Démonstration à l'échelle commerciale – Vestas V47 (660 kW) ou Enercon E48 (800 kW)
2021	Mise en place des modifications de mise à l'échelle – Global Accorder une licence pour la technologie de pale virtuelle à GE, Vestas, Enercon, etc. pour nouvelles éoliennes – Global

Figure 2 : Technologie éolienne à pales virtuelles – Plan de commercialisation de cinq ans

Renseignements supplémentaires En ce moment, les renseignements concernant la technologie de l'énergie éolienne VB sont confidentiels. Ainsi, le présent rapport décrit le projet en détail général et explique la technologie sous l'angle des avantages éprouvés. De plus amples renseignements sont disponibles auprès de GTRenergy suivant la confirmation de l'intention ferme et la conclusion d'une entente de non-divulgaration.

Veuillez communiquer avec :

GTRenergy Ltd.

2150, promenade Winston Park, bureau 106
Oakville (Ontario)
L6H 5V1

Téléphone : (905) 829-0060

Télécopieur : (905) 829-0057

info@gtrenergy.com