

Capsule no6, mars 2009

Prospecteurs de vent, géographes de l'énergie

Audrey Lessard-Fontaine¹

Mise en situation

Depuis quelques années, l'énergie éolienne connaît un développement exponentiel tant au niveau de la puissance installée² mondiale qu'au niveau du développement de la technologie des éoliennes en soi. De nombreux facteurs expliquent que cette industrie se soit développée plus rapidement et plus largement qu'une autre filière énergétique, notamment le fait que l'industrie éolienne a toujours su atteindre les objectifs de développement qui lui étaient imposés, les coûts ont tendance à diminuer et la fiabilité des appareils s'améliore sans cesse grâce à des avancées technologiques toujours plus performantes. De plus, le fait que ce type d'énergie respecte les contraintes environnementales et permet d'assurer partiellement la sécurité d'approvisionnement énergétique s'avère un avantage non négligeable.

L'Europe, véritable berceau de l'énergie éolienne, détient encore aujourd'hui le leadership tant au niveau de la puissance installée qu'au niveau du développement technique. En effet, deux des trois plus grandes puissances mondiales de l'éolienne se situent sur ce continent: à la fin de l'année 2008, l'Allemagne comptait 23903 mégawatts d'énergie éolienne et l'Espagne 16017 MW (www.ewea.com)³. De plus, certains pays de ce continent développent des expertises qui améliorent les perspectives d'avenir de cette technologie. Par exemple, en Allemagne, la qualité médiocre des vents au sud du pays a obligé les chercheurs et l'industrie à adapter la technologie pour assurer la rentabilité des projets développés. De son côté, le Danemark, grand pionnier du domaine, fait encore aujourd'hui figure d'un des plus grands lieux de recherche et de développement. On y retrouve le laboratoire national Risø qui fait office de modèle en tant que leader mondial du domaine de l'énergie éolienne ; on y a en effet développé la capacité d'intégrer les résultats des recherches tant du monde universitaire que des instituts de recherche, des instituts techniques et de l'industrie afin de créer un haut niveau de connaissances multidisciplinaires de l'énergie éolienne.

Au Canada, le rythme de développement de la filière liée à l'énergie des vents s'accélère également ; le pays se retrouve aujourd'hui situé au 11^e rang mondial des producteurs d'énergie éolienne avec 2369 MW et il est prévu que cette production triple d'ici 2015 (www.canwea.com)⁴. Les gouvernements fédéral et provinciaux supportent ce développement par des mesures incitatives (programme écoÉNERGIE, appels d'offres, etc.). Au Québec plus particulièrement, l'objectif fixé par le gouvernement est de 4000 MW pour l'horizon de 2015, ce qui représentera 10% de la puissance nominale de l'ensemble du réseau électrique québécois.

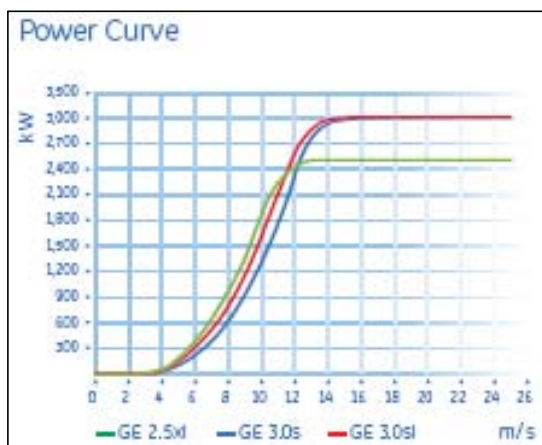


Figure 1 Courbes de puissance de 3 éoliennes commercialisées par GE (Source: www.gepower.com)

Malgré tous ces chiffres impressionnants quant à la rapidité du développement de cette filière énergétique, de nombreuses améliorations techniques sont encore nécessaires pour optimiser son évolution, notamment au niveau de l'estimation de la ressource éolienne elle-même, la prospection du vent en quelque sorte.

Importance de la connaissance de la distribution des vents d'une région dans un projet de développement d'énergie éolienne

Dans la mesure où la rentabilité même d'un projet de parc éolien dépend de la puissance des vents de la région où le parc est établi, la connaissance de la distribution des vents de la région concernée revêt un caractère essentiel. Il faut savoir que l'énergie produite à partir des éoliennes est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. Ainsi, une augmentation de 5% de la vitesse du vent entraîne une augmentation de 15% de la puissance maximale théorique qui peut être tirée du vent.

¹ INRS Eau, Terre et Environnement, 490 de la Couronne, Québec QC G1K 9A9, audrey.lessard-fontaine@ete.inrs.ca

Audrey Lessard-Fontaine est étudiante à la maîtrise dans l'équipe de la professeure Monique Bernier, du centre Eau Terre Environnement de l'INRS.

Elle est codirigée par le professeur honoraire Gaëtan Lafrance, du centre Énergie Matériaux Télécommunications.

² Ce qui est entendu par puissance installée est la somme de la puissance de sortie maximale des éoliennes. Par exemple, s'il y a un parc avec 10 éoliennes de 2 MW, la puissance nominale installée est de 20 MW.

³ EWEA : European Wind Energy Association (Association Européenne de l'Énergie Éolienne)

⁴ CanWEA : Canadian Wind Energy Association (Association Canadienne de l'Énergie Éolienne)

La **figure 1** illustre bien ce principe ; les courbes de puissance qui y sont présentées s'apparentent à celle de la majorité des éoliennes modernes. On constate que lorsque les vents sont inférieurs à 3 m/s, la puissance de sortie est insuffisante pour atteindre la rentabilité et les éoliennes ne sont gardées à l'arrêt. Lorsque les vents sont d'environ 12 m/s, les éoliennes atteignent alors leur puissance nominale. De 12 à 25 m/s, la puissance de sortie est constante et au-delà de 25 m/s (90 km/h), les éoliennes sont arrêtées puisque les vents, trop puissants, risqueraient de les endommager. Ainsi, pour la prévision d'un projet d'énergie éolienne, il faut non seulement connaître la vitesse moyenne des vents d'une région, mais également la répartition des vitesses de vent et leur fréquence.

Les méthodes les plus connues et les plus largement répandues dans l'industrie éolienne pour estimer la ressource éolienne d'une région sont basées sur des modèles météorologiques et des données de mesures directes (bouées, stations météorologiques, ballons-sondes, etc.). Par contre, de nos jours, de nombreuses raisons amènent l'industrie à se tourner de plus en plus vers l'installation de parcs éoliens en mer (**voir figure 2**). Comme

les données de mesure directe sont beaucoup plus rares en mer et qu'installer un mât météorologique sur un site de prospection situé en mer coûte très cher, on cherche des solutions qui permettront de réduire les coûts de prospection dans ces régions. À l'ère des technologies satellitaires, la possibilité d'estimer la ressource éolienne à partir de données de télédétection devient donc particulièrement alléchante.

Estimation des vitesses de vent en mer à partir d'une image radar

Pour comprendre comment l'on peut estimer les vitesses de vent à partir d'un signal radar acquis d'un satellite, il faut d'abord avoir une certaine compréhension du fonctionnement d'un radar. Un radar est un instrument de télédétection actif (ceci signifie



Figure 2 Parc éolien de Horns Rev, au Danemark.

Source : http://www.hornsrev.dk/Engelsk/default_ie.htm

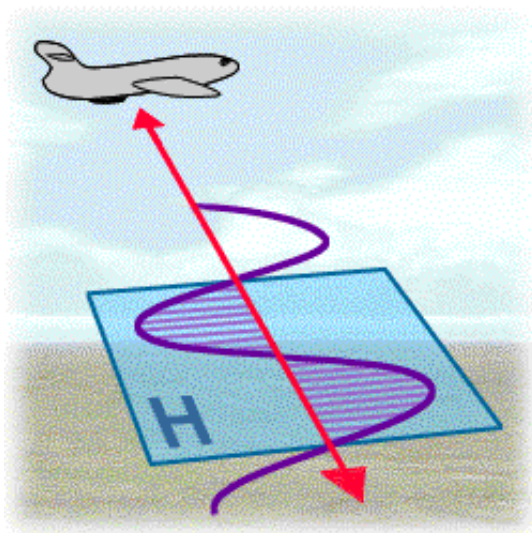


Figure 3 Illustration d'une onde polarisée horizontalement

Source : <http://cct.rncan.gc.ca>

qu'il ne s'agit pas seulement d'un *capteur*, mais également d'un *émetteur* d'ondes). Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons un radar qui se trouve à bord d'un satellite en orbite autour de la terre, **RADARSAT-1**. Celui-ci émet et reçoit des ondes électromagnétiques polarisées horizontalement (**voir figure 3 pour la polarisation**) à une fréquence de 5.3 Ghz, ce qui signifie une longueur d'onde de 5.6 cm. Il faut savoir que la longueur d'onde d'un signal radar influence largement la réponse des surfaces sur lesquelles se diffuse le signal et, par le fait même, le signal rétrodiffusé (reçu par le radar). En effet, le signal radar a tendance à réagir plus fortement avec les éléments dont la longueur caractéristique s'approche de la longueur d'onde du radar. Par exemple, un radar dont la longueur d'onde s'approche du mètre réagira plus fortement avec les arbres dont la taille est de l'ordre du mètre.

Tel que mentionné précédemment, dans le cas qui nous intéresse, nous travaillons avec RADARSAT-1 dont la longueur d'onde est de 5.6 cm ; lors de la réflexion de l'onde à la surface de l'eau, la majeure partie du signal rétrodiffusé peut être expliqué par les vaguelettes qui modulent la surface de l'eau. Il est important ici de bien définir le terme vaguelette : il ne s'agit pas des grosses vagues qui se développent lorsque le vent souffle longtemps et qui

font tanguer les bateaux, mais plutôt des petites vagues qui déforment la surface de l'eau dès que le vent se lève (il suffit de penser à un lac dont la surface, auparavant aussi clair qu'un miroir, se brouille lorsque le vent se lève). Ces vaguelettes, appelées *ondes de capillarités*, sont présentes même lorsque le vent souffle longuement ; elles modulent la surface des grandes vagues et varient très rapidement selon la direction et la vitesse du vent. Elles ont une longueur d'onde caractéristique de l'ordre du cm, ce qui explique qu'elles soient l'élément interagissant le plus largement avec le signal radar par un phénomène de physique appelé *résonance de Bragg*. Comme la forme des vaguelettes varie selon la direction et la vitesse du vent, le signal rétrodiffusé (i.e. signal ayant interagi avec les vaguelettes puis réfléchi vers le radar) varie lui aussi selon la direction et la vitesse du vent.

La relation entre le signal radar et la vitesse du vent est par contre très complexe puisqu'elle dépend non seulement de la vitesse du vent, mais aussi de sa direction, de l'angle d'incidence du radar et de nombreux autres facteurs. De façon générale, comme on connaît bien la physique de chacun des phénomènes impliqués lorsque pris séparément (i.e. la modélisation de la surface de l'eau, la réflexion de l'onde radar sur l'eau, la réception du signal rétrodiffusé, etc.), il devrait être possible de créer un modèle à partir des lois de la physique régissant ces interactions. Cependant, compte tenu de la complexité de l'ensemble de ces paramètres, jusqu'à présent, on se base plutôt sur des modèles empiriques pour estimer des vitesses de vent à partir du signal rétrodiffusé. À partir de ces modèles on peut estimer pour chaque pixel la vitesse de vent associée au signal rétrodiffusé, ce qui nous permet d'obtenir une carte à haute résolution des vents instantanés (i.e. à un moment précis) de la région à l'étude est ainsi obtenue (voir figure 4). On parle de haute résolution parce que le satellite RADARSAT-1 permet de travailler avec des pixels de 400 m, ce qui est beaucoup plus précis que d'autres satellites disponibles tels que QuikSCAT, dont les pixels ont une taille de 25 km.

Les cartes de vents instantanés

Les cartes obtenues à partir de données satellitaires sont particulièrement utiles puisqu'elles permettent de voir les motifs du vent en un moment précis sur l'ensemble d'une région. À partir de ces cartes on peut identifier pour des situations ponctuelles les endroits où le vent est le plus intéressant et ceux où l'on retrouve des poches de vents de très faible vélocité. Ces cartes de vents ainsi obtenues sont d'un grand intérêt puisqu'elles

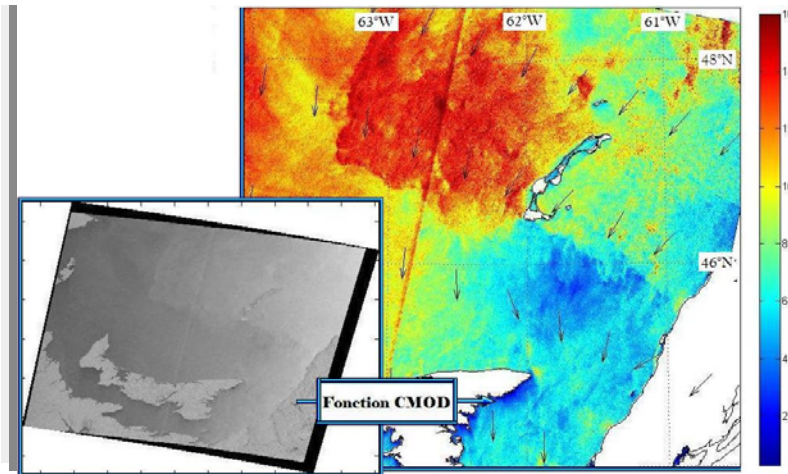


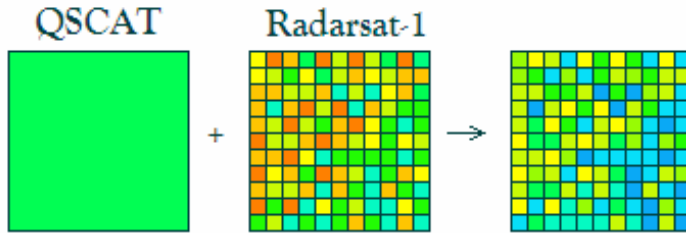
Figure 4

peuvent permettre d'éliminer d'office certains sites où les vents en provenance d'une direction sont systématiquement plus faibles, et ce, pour diverses raisons, comme, par exemple, un effet topographique.

L'estimation des distributions de vents à partir d'une série d'images radars

Bien que l'intérêt des cartes de vents instantanés soit incontestable, elles s'avèrent insuffisantes dans le cadre d'un projet de parc éolien. En effet, tel que mentionné au début de cet article, dans un tel projet c'est la distribution des vitesses de vents qui caractérisent la région qui s'avère essentielle.

Recréer la climatologie d'un site à partir d'images radar exigerait une quantité impressionnante d'images RADARSAT-1. Certaines études ont démontré qu'il faudrait un minimum de 200 images, pour estimer avec $\pm 10\%$ d'incertitude neuf fois sur dix les paramètres caractérisant la distribution. Comme il s'avère actuellement très difficile d'obtenir une telle quantité d'images (coût des images, disponibilité des données, etc.), l'équipe de recherche de l'INRS tente présentement de contourner cette problématique en étudiant la possibilité de combiner les données à haute résolution obtenues à partir du satellite RADARSAT-1 à d'autres données à plus faible résolution, mais disponibles en beaucoup plus grande quantité et distribuées gratuitement, telles les données du satellite QuikSCAT mentionné précédemment. En fusionnant ces deux sources de données, on estime qu'il serait possible d'optimiser l'estimation de la distribution des vents se rapportant à une région; les données QuikSCAT serviraient à améliorer la précision de l'estimation et les données RADARSAT-1 optimiseraient la résolution spatiale. Pour ce faire, on considère la distribution des vents déterminée à partir des données du satellite QuikSCAT comme étant la distribution de référence. On suppose que les paramètres A et K estimés à partir de cette méthode sont plus exacts que ceux que l'on estimerait à partir d'image RADARSAT-1 vu la quantité beaucoup plus importante de données (~3000 vs ~80 dans notre cas). Par contre, la résolution spatiale de QuikSCAT étant médiocre, c'est ici que les images RSO interviennent pour utiliser la complémentarité des deux types de données, la précision dans l'évaluation des paramètres de distribution de QuikSCAT et la haute résolution des données RADARSAT-1. Ceci permet donc d'améliorer la résolution à



l'intérieur d'un pixel QuikSCAT tout en gardant, à Mésos-échelle, la même distribution des vitesses de vent (voir figure 5).

Conclusion

En somme, l'utilisation de l'imagerie satellitaire dans le domaine de l'énergie éolienne est encore à ses balbutiements,

Figure 5

mais présente de nombreux avantages qui pourraient aider l'industrie à s'implanter plus largement en région offshore. Déjà, les données QuikSCAT sont utilisées par les grands centres météorologiques afin d'améliorer les simulations des modèles et quelques applications à des cas réels de satellites semblables à RADARSAT-1 ont été réalisées en Europe. Au Canada, grâce à l'existence d'un réseau pancanadien de recherche en énergie éolienne, une première entente entre l'Institut de l'Éolienne au Canada et l'INRS permettra de tester l'applicabilité de l'imagerie satellitaire dans le cadre d'une étude de préféabilité dans la région de l'île du Prince Édouard. La présente recherche n'est qu'un des nombreux exemples des avancées qui se font au niveau des développements techniques et de la recherche dans le domaine de l'éolien au Québec. Il se crée présentement dans la province une expertise dans un nouveau domaine énergétique qui a l'avantage de très bien se marier avec le système déjà existant : l'hydro-électricité. Afin de promouvoir les développements du côté de la recherche, une nouvelle mention énergie sera disponible pour les étudiants dont les travaux de recherches sont liés aux énergies renouvelables, et ce, dès l'automne 2009 pour l'ensemble des composantes de l'Université du Québec. Si le 21^e siècle s'apprête à devenir le siècle de l'énergie, il est important de s'y préparer.

Pour en savoir plus

Quelques références en énergie éolienne

- www.windpower.org Site danois rempli d'une foule d'information sur l'énergie éolienne et tutoriels pour les enfants et les grands afin de mieux comprendre
- www.canwea.ca Site de l'association canadienne d'énergie éolienne
- www.mrn.gouv.qc.ca/energie/index.jsp Site du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, on y retrouve les politiques énergétiques et les projets actuels en énergie éolienne
- www.naikun.ca, premier projet d'énergie éolienne en mer au Canada. Pas encore en phase de réalisation, mais assez avancé dans les démarches préalables.

Quelques références en télédétection

- www.ccrs.nrcan.gc.ca (Centre canadien de Télédétection). On y retrouve d'excellents tutoriels sur le fonctionnement d'un radar
- www.sarusersmanual.com Manuel électronique d'accès gratuit où l'on retrouve, entre autres, les bases de la technique d'estimation des vitesses de vent à partir d'image RSO