

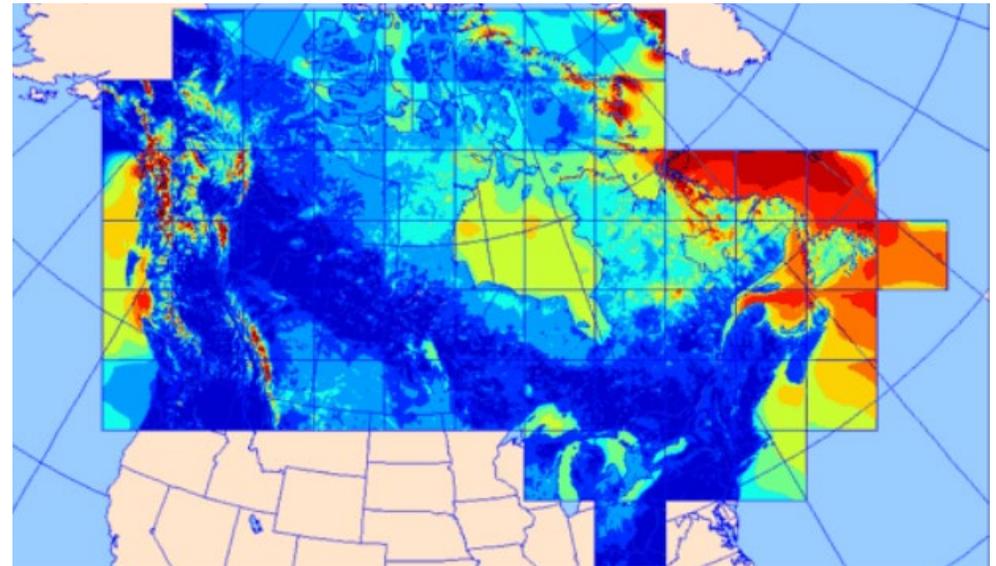
12. L'énergie éolienne

12.6 – Ressource éolienne

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Groupe t3e, Département de génie mécanique

Mathieu Patin, M.ing.



Question



ENR2020

- Quelle topologie offre généralement le meilleur potentiel éolien?
 - A. Mer
 - B. Champ
 - C. Ville
 - D. Montagne
 - E. Aucune de ces réponses

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Gisement canadien
- Données disponibles en ligne
- Mesure
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Gisement canadien
- Données disponibles en ligne
- Mesure
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Dans tout projet impliquant l'utilisation d'énergie éolienne, une attention toute particulière doit donc être portée à l'estimation du **potentiel éolien** ;
- Cependant, cette étude est complexe en raison de l'aspect aléatoire et de la **rapidité des variations** des phénomènes étudiés.

Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
 - Présenter sommairement le gisement éolien du Canada;
 - Donner quelques éléments des mesures effectuées sur site.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Gisement canadien***
- Données disponibles en ligne
- Mesure
- Conclusion

Question



ENR2020

- Quelles sont les sources canadiennes principales qui permettent d'obtenir des données sur le potentiel éolien du Canada et du Québec
 - A. CANWEA
 - B. Le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles
 - C. Environnement et Changement climatique Canada
 - D. Atlas éolien
 - E. CANSIA

Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)
 - Les vitesses moyennes du vent à une altitude donnée sont fournies par des atlas éoliens.
 - Le vent peut varier beaucoup d'une année sur l'autre, les mesures sont donc faites sur plusieurs années, voire des décennies.

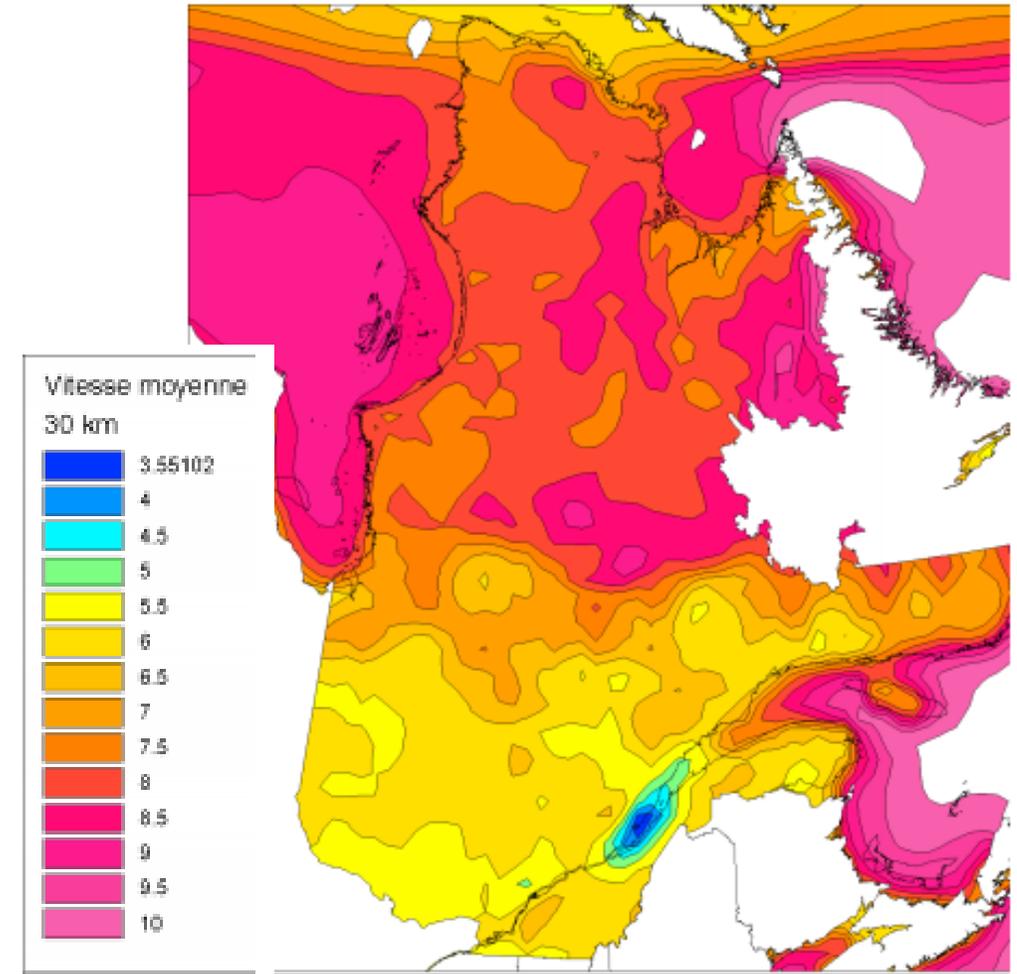
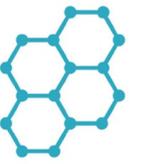


Fig.2. Vitesse moyenne sur l'ensemble du Québec, modélisation WEST à 30 km de maille Évalué à 80 m au-dessus du sol. Intervalle de contour de 0.5 m/s.

Question

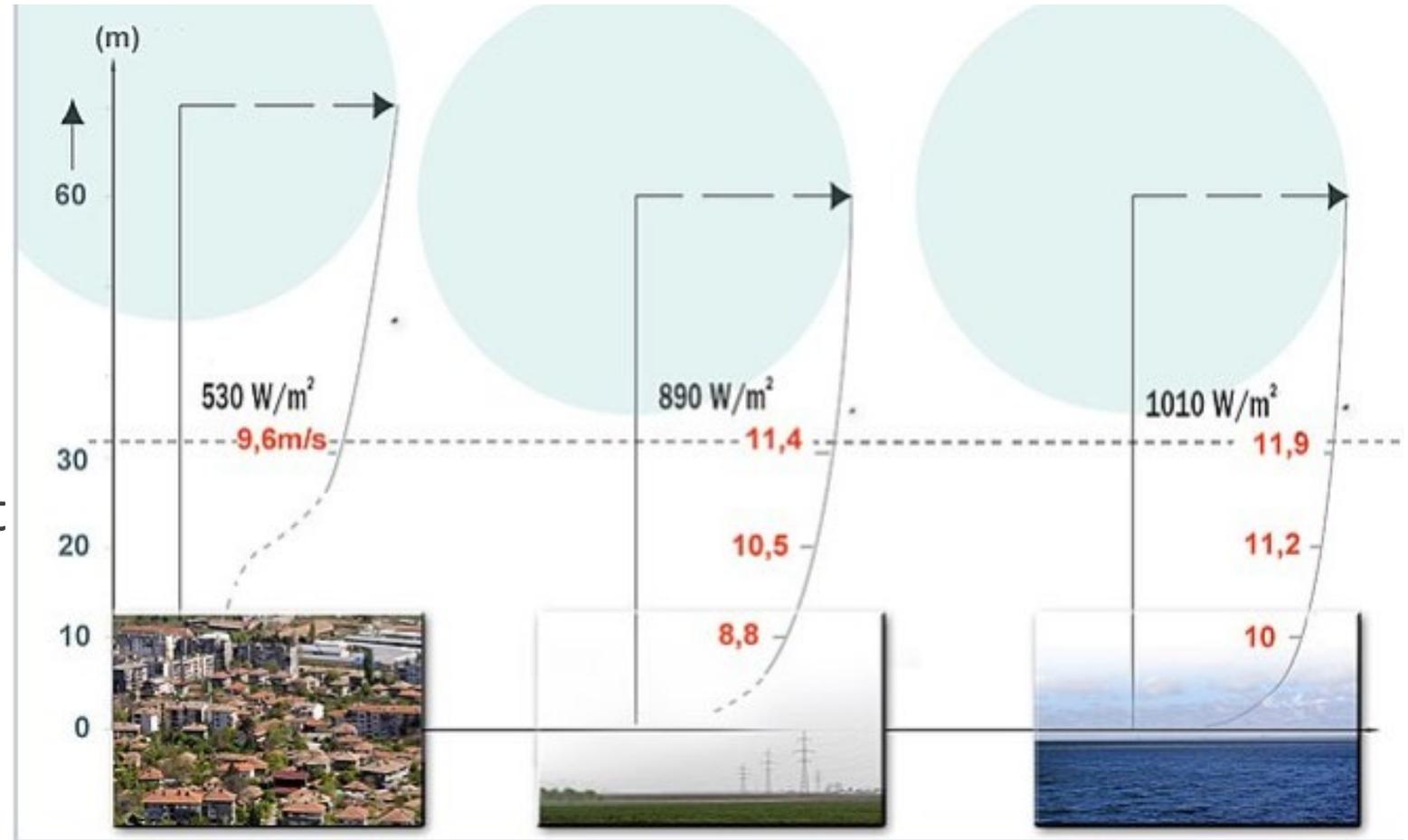


ENR2020

- Qu'est-ce qu'une « bonne » vitesse moyenne des vents?
 - A. 1-3 m/s
 - B. 4-6 m/s
 - C. 7-9 m/s
 - D. 10-12 m/s
 - E. 13-15 m/s

Gisement canadien

- Potentiel éolien
 - Le potentiel éolien varie selon la hauteur et le type d'environnement ("rugosité" du paysage plus ou moins importante et plus ou moins de source de turbulences).
 - 2 x + MWh en mer!



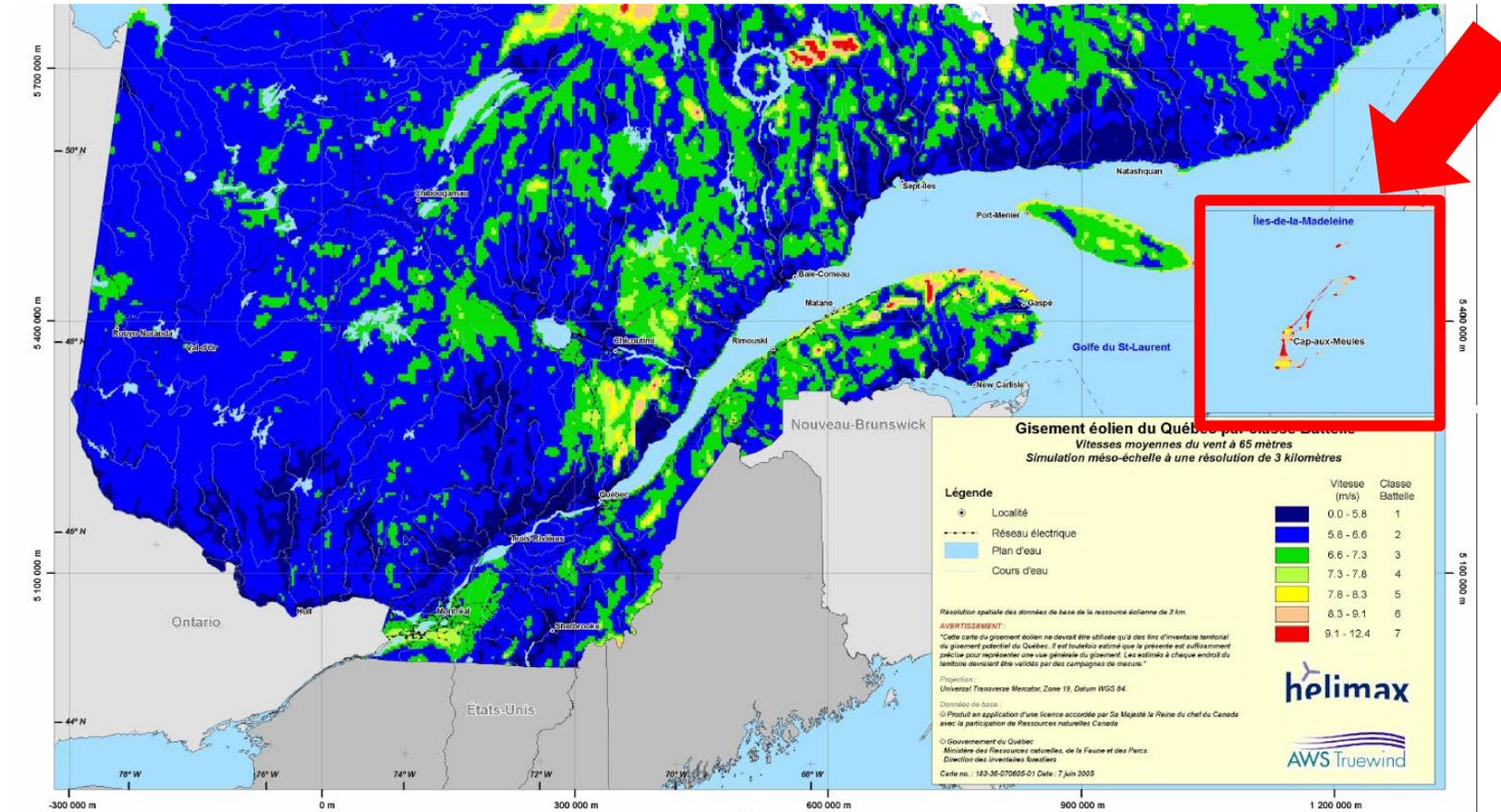
Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)
 - Le territoire québécois possède des sites fort intéressants pour la production d'énergie éolienne. Les régions les plus favorisées sont la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine, la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent, le Saguenay–Lac-Saint-Jean et le Nord-du-Québec;
 - Des cartes du gisement sont disponibles à 65, 80 et 100 m;
 - Ces cartes sont réalisées pour la vitesse moyenne, la densité de puissance et la rugosité;
 - Ces cartes sont réalisées pour la vitesse moyenne pour chaque région à 80m d'altitude seulement.

<https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/potentiel-eolien-quebec/>

Gisement canadien

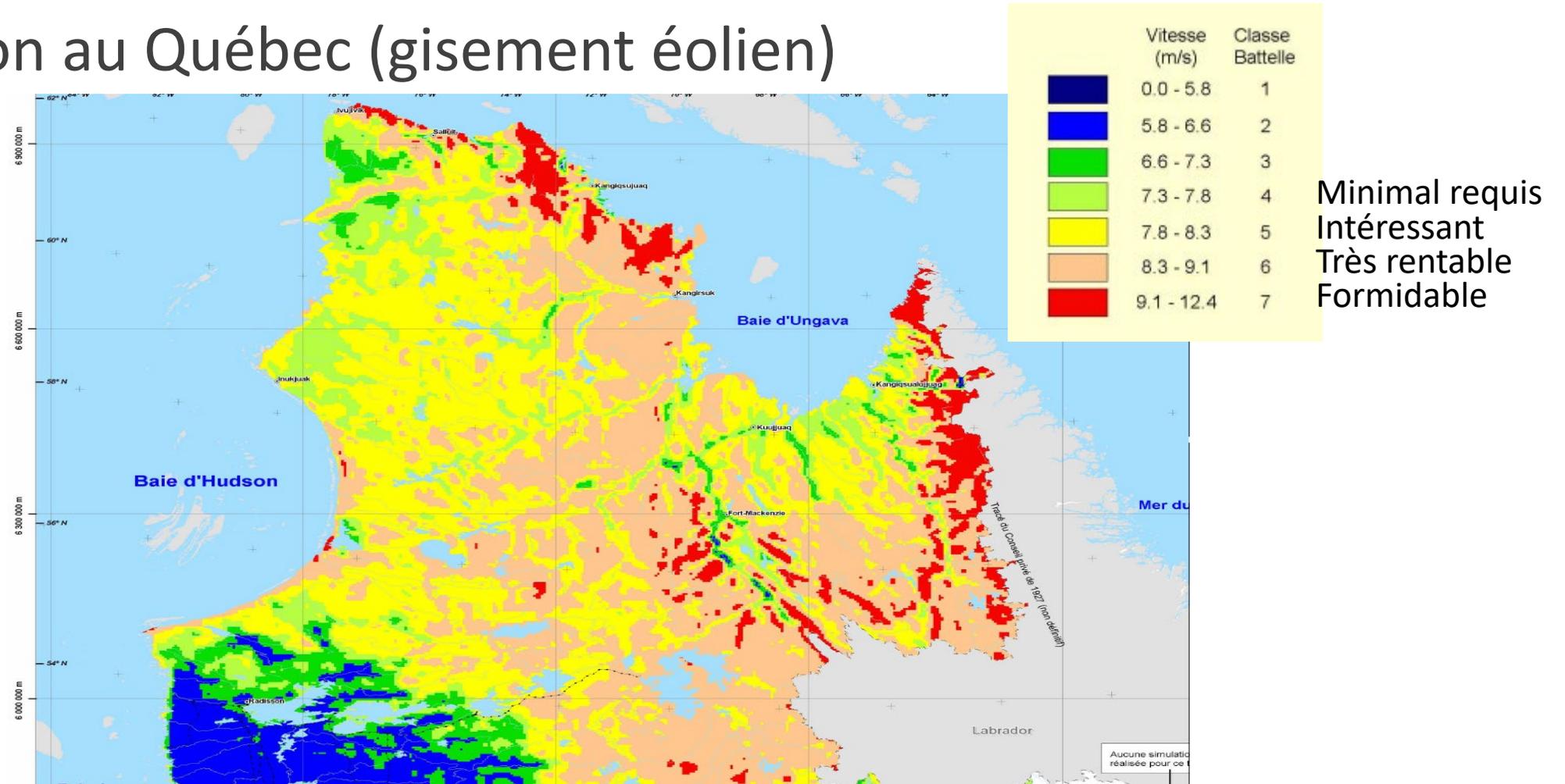
- Situation au Québec (gisement éolien)



Source: Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles
<https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/potentiel-eolien-quebec/>

Gisement canadien

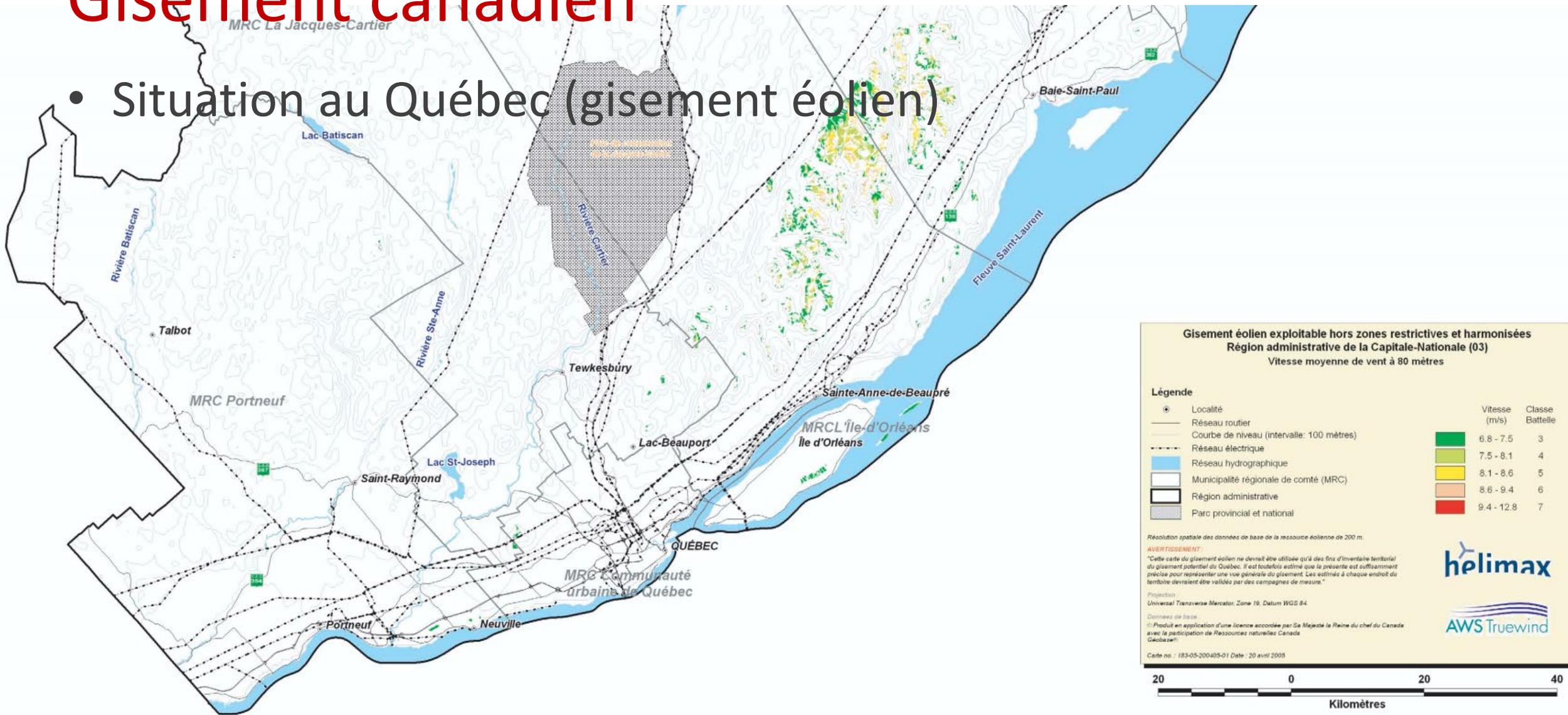
- Situation au Québec (gisement éolien)



Source: Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles
<https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/potentiel-eolien-quebec/>

Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)



Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)
 - Potentiel éolien théorique total en puissance installée, techniquement exploitable, de 3 984 322 MW (soit 100 X + que le réseau actuel). En fait, cela exclut des « zones restrictives ».
 - Production d'électricité pouvant en découler de 12 440TWh/an dont 10 920 TWh/an dans la seule région 10, Nord-du-Québec.
 - Si on le limite au territoire situé à moins de 25 kilomètres de part et d'autre des lignes à haute tension qui parcourent la province, le potentiel éolien du Québec demeure supérieur à 100 000 MW (3 X + que le réseau actuel).

Hélimax Énergie inc. 2005. Inventaire du potentiel éolien exploitable au Québec. 2005. Préparé pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Montréal, Québec. 60 p.

Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)
 - La principale limite au développement du potentiel éolien du Québec est la capacité du réseau électrique actuel à intégrer **à peu de frais** cette nouvelle production.
 - Cette capacité d'intégration a été estimée par Hydro-Québec à moins de 4 000 MW.

Gisement canadien

- Situation au Québec (gisement éolien)

| | Région administrative | Potentiel éolien MW | Limite réseau avec renforcement MW | Limite réseau avec ajout d'infrastructure MW |
|----|----------------------------------|------------------------|--|---|
| 1 | 01 Bas-Saint-Laurent | 15 909 | 550 | 550 |
| 2 | 02 Saguenay-Lac-St-Jean | 40 280 | 2 000 | 2 100 |
| 3 | 03 Capitale-Nationale | 1 540 | 2 000 | 3 650 |
| 4 | 04 Mauricie | 1 263 | 2 000 | 4 000 |
| 5 | 05 Estrie | 1 755 | 2 000 | 2 200 |
| 6 | 06 Montréal | 0 | 10 800 | 10 800 |
| 7 | 07 Outaouais | 81 | 1 000 | 1 000 |
| 8 | 08 Abitibi-Témiscamingue | 739 | 1 000 | 1 000 |
| 9 | 09 Côte-Nord | 361 488 | 2 000 | 3 000 |
| 10 | 10 Nord-du-Québec | 3 473 024 | 2 000 | 2 120 |
| 11 | 11 Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine | 17 078 | 550 | 550 |
| 12 | 12 Chaudières-Appalaches | 6 240 | 2 000 | 5 000 |
| 13 | 13 Laval | 0 | 5 950 | 5 950 |
| 14 | 14 Lanaudière | 77 | 3 000 | 3 000 |
| 15 | 15 Laurentides | 250 | 5 670 | 5 670 |
| 16 | 16 Montérégie | 3 993 | 21 650 | 21 650 |
| 17 | 17 Centre-du-Québec | 1 907 | 2 000 | 3 000 |

Les zones indiquées semblent recéler un potentiel sans trop d'investissements.

Mais est-ce que la force des vents y est suffisante?

Hélimax Énergie inc. 2005. Inventaire du potentiel éolien exploitable au Québec. 2005. Préparé pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Montréal, Québec. 60 p.

Question

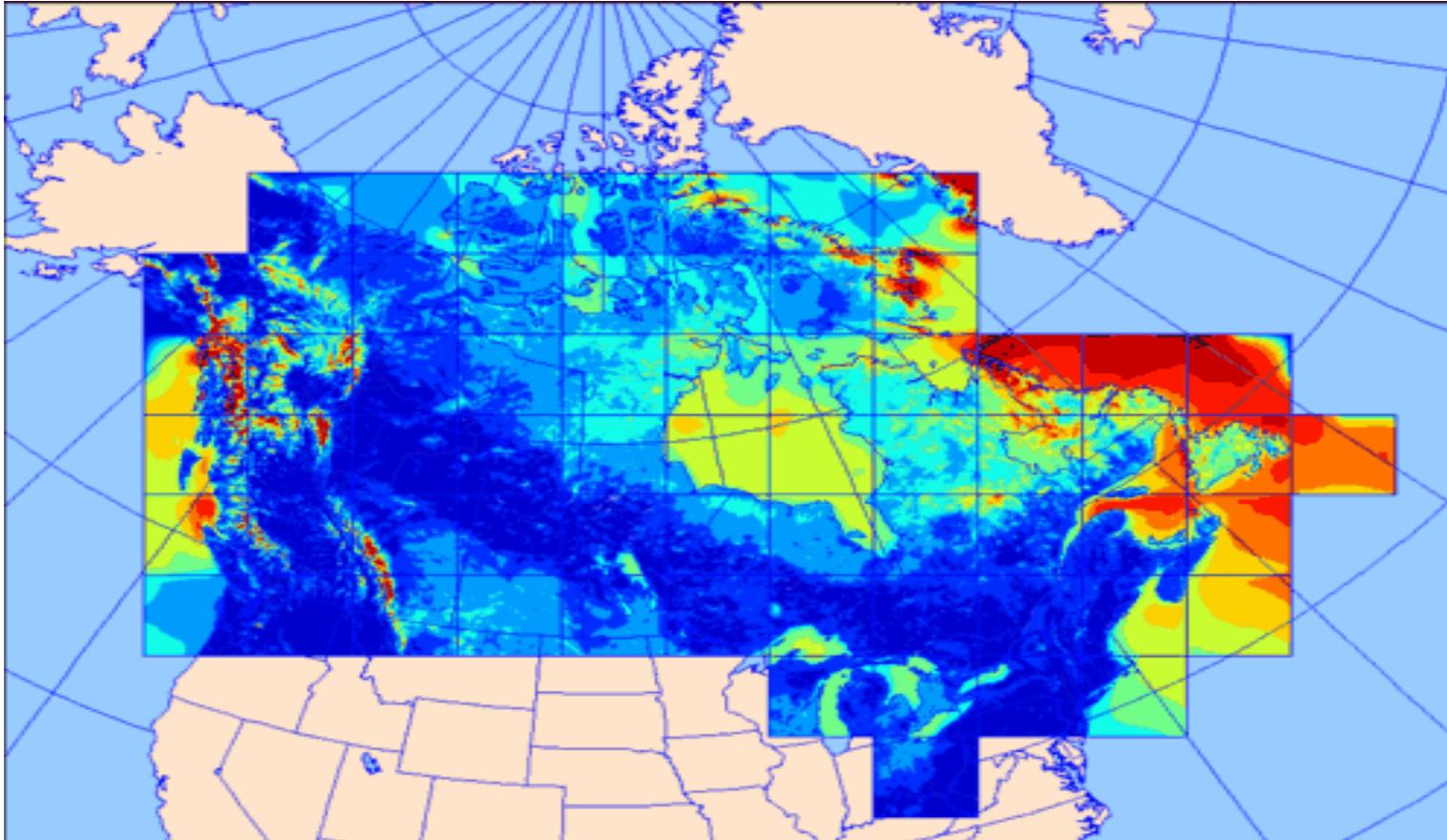


ENR2020

- Pourquoi la mine Raglan de Glencore a-t-elle installé une éolienne?
 - A. Pour profiter de subventions *Écopformance* de plus de 1M\$
 - B. Pour réduire sa charge fossile et sa dépendance au transport
 - C. Pour réduire ses émissions et récupérer les crédits carbone
 - D. Parce que c'est plus payant que BAU
 - E. Pour améliorer la qualité de l'air dans ses installations

Gisement canadien

- Situation au Canada (gisement éolien)



Source: <http://www.windatlas.ca/>

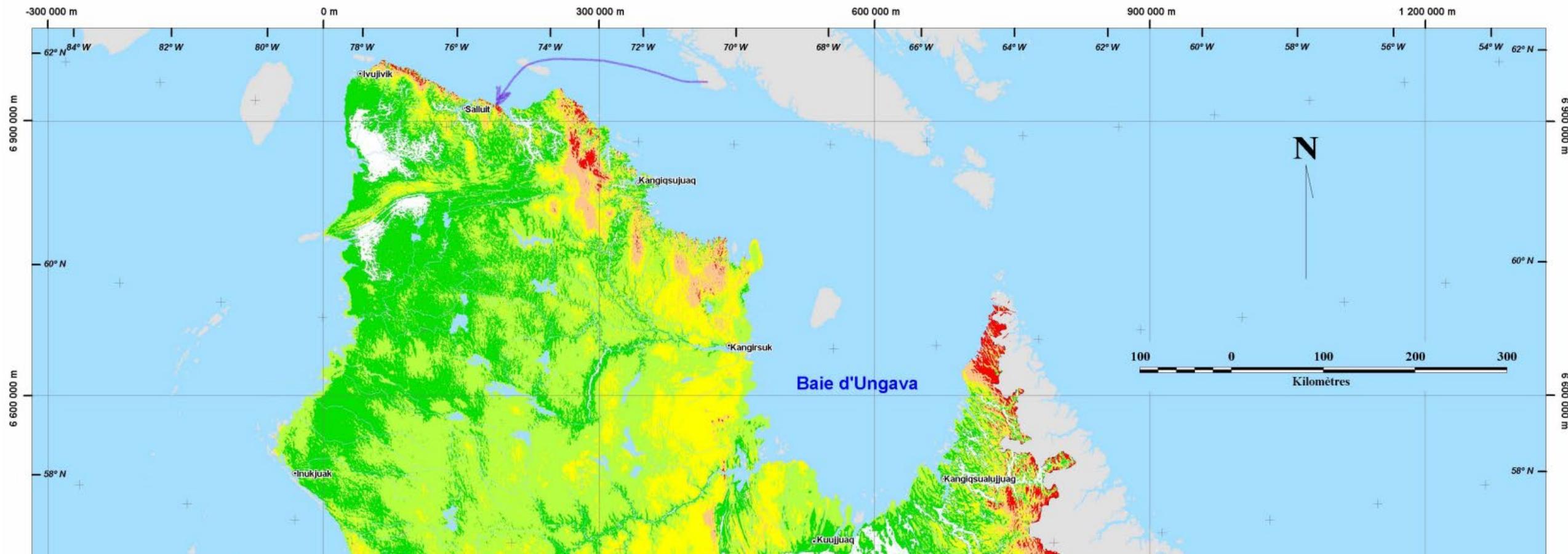
Gisement canadien

- Quelques parcs éoliens actuellement en service ou abandonnés*

| Parc éolien | Région | Nombre | Manufacturier | Puissance (MWe) | Propriétaire |
|--------------------------------|-------------------------------|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|
| Le Nordais (Matane + Cap Chat) | Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine | 132 | Neg Micon | 99 | TransAlta |
| Gros-Morne | Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine | 141 | GE Wind | 211,5 | Cartier Énergie Éolienne |
| Massif du Sud | Chaudière-Appalaches | 75 | REpower | 150 | EDF Énergies Nouvelles Canada |
| Lac Alfred | Bas-Saint-Laurent | 150 | RE Power | 300 | Saint-Laurent Energies |
| Rivière-du-Loup* | Bas-Saint-Laurent | 114 | GE Wind | 171 | Les ressources Terrawind |

Gisement canadien

- Voici pourquoi la mine Raglan de Glencore a installé une éolienne



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Gisement canadien
- ***Données disponibles en ligne***
- Mesure
- Conclusion

Question



ENR2020

- Lequel de ces appareils mesure la direction du vent ?
 - A. Vanne de direction
 - B. Anémomètre à coupole
 - C. Anémomètre à hélice
 - D. LIDAR
 - E. Aucune de ces réponses

Données disponibles en ligne

- Carte des vents (vitesse moyenne)

Click on the map to change the current tile:



Display Field

- Mean Wind Speed
- Mean Wind Energy
- Roughness Length
- Topography
- Land/Water Mask

Height

- 30m
- 50m
- 80m

Period

- Annual
- Winter (DJF)
- Spring (MAM)
- Summer (JJA)
- Fall (SON)

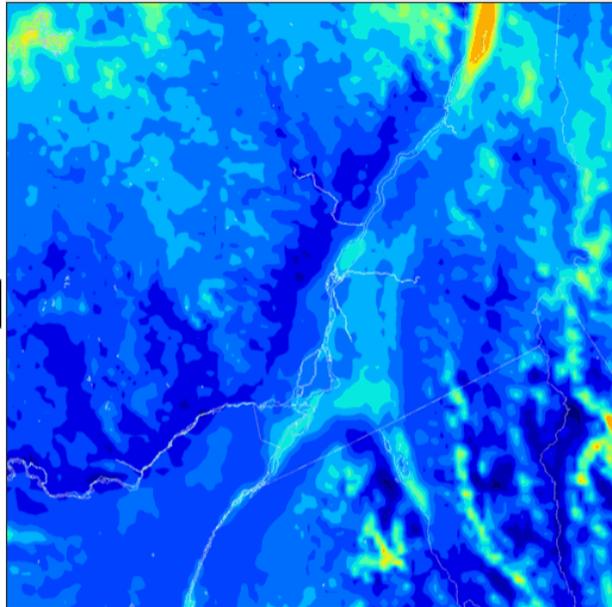
Display Options

- Power Lines
- Lakes and Rivers
- Roads
- Cities

Download and print

Click on the button below to download and print the current image at high resolution:

(opens a new window)



(m/s)

10
9
8
7
6
5
4
3

Cart

Tools

Compare with real-life observations

Values, wind roses, wind speed histograms, turbine formula at a point

Latitude/longitude under the cursor: Lat.=N/A Long.=N/A

Click on the map, enter a latitude/longitude or enter a postal code to display information.

Lat.: Long.: or Postal code:

Source: <http://www.windatlas.ca/>

Données disponibles en ligne

- Carte des vents (énergie moyenne)

The screenshot displays the Wind Atlas web application interface. On the left, there are several control panels: 'Navigation' with a map grid and a 'Click on the map to change the current tile:' instruction; 'Display Field' with radio buttons for Mean Wind Speed, Mean Wind Energy (selected), Roughness Length, Topography, and Land/Water Mask; 'Height' with radio buttons for 30m, 50m (selected), and 80m; 'Period' with radio buttons for Annual, Winter (DJF) (selected), Spring (MAM), Summer (JJA), and Fall (SON); and 'Display Options' with checkboxes for Power Lines, Lakes and Rivers, Roads, and Cities. The central panel shows a heatmap titled 'Quadrangle 31 (j=7; i=20) - Mean Wind Energy - 50m - Winter (DJF)' with 'Zoom' and 'Overall map' buttons. A color scale legend on the right indicates wind energy in W/m², ranging from 0 (blue) to 1000 (red). Below the heatmap, there are buttons for 'Add', 'Remove', and 'Contents'. The 'Tools' section includes a 'Help' button. The 'Compare with real-life observations' section has a 'Compare' button. At the bottom, there is a section for 'Values, wind roses, wind speed histograms, turbine formula at a point' with a text input for 'Latitude/longitude under the cursor: Lat.=46.555 Long.= -76.449' and a form with 'Lat.:', 'Long.:', and 'or Postal code:' fields, along with 'Submit' and 'Clear' buttons. A red arrow points to the 'Submit' button.

Source: <http://www.windatlas.ca/>

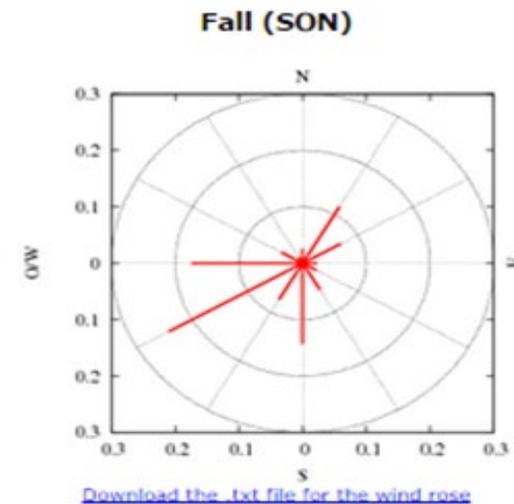
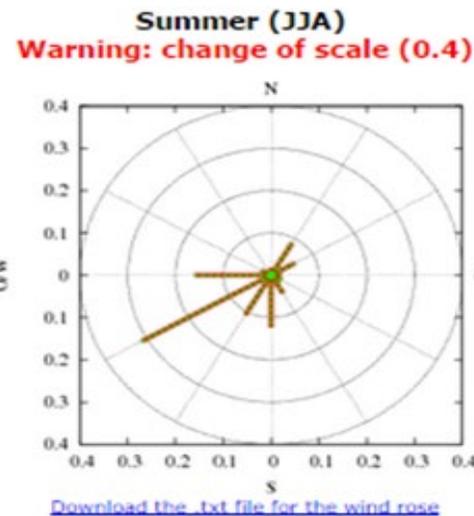
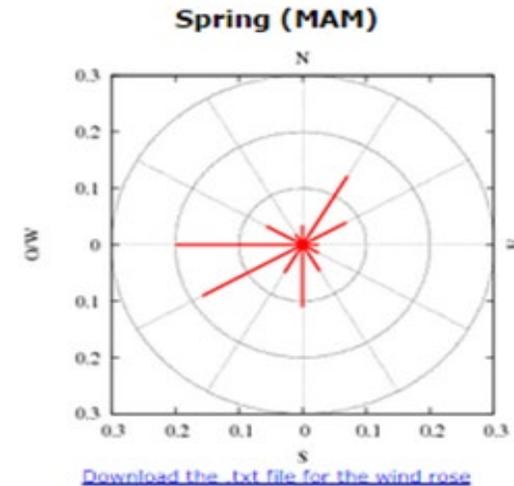
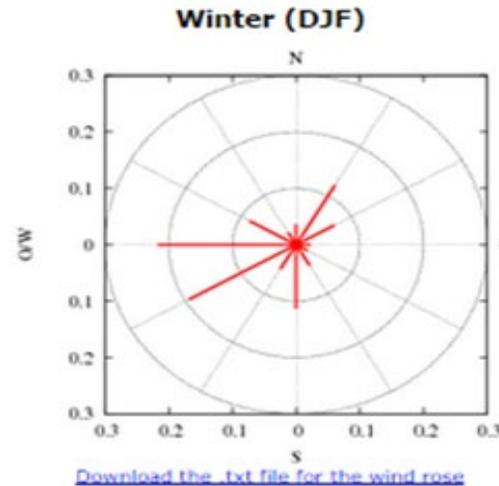
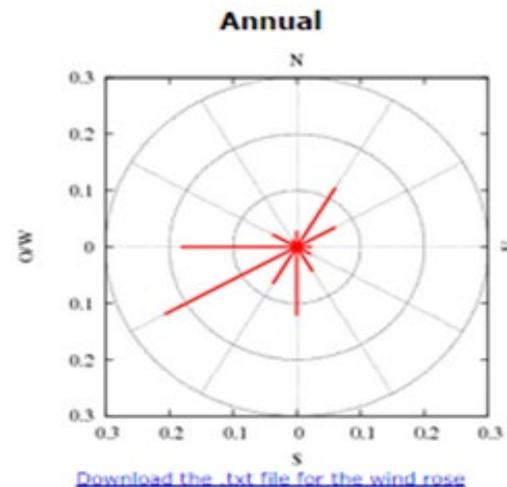
Données disponibles en ligne

- Code postal → H4E 3C6

| Values | Roses | Histograms | Turbine formula | |
|---|-----------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Numerical Values at 50m | | | | |
| Source: http://www.windatlas.ca/ | | | | |
| Latitude = 45.442, longitude = -73.576 | | | | |
| Period | Mean Wind Speed | Mean Wind Energy | Weibull shape parameter (k) | Weibull scale parameter (A) |
| Annual | 4.88 m/s | 113.88 W/m ² | 1.95 | 5.50 m/s |
| Winter (DJF) | 5.54 m/s | 157.75 W/m ² | 2.05 | 6.25 m/s |
| Spring (MAM) | 4.89 m/s | 111.38 W/m ² | 2.00 | 5.51 m/s |
| Summer (JJA) | 4.11 m/s | 64.94 W/m ² | 2.04 | 4.64 m/s |
| Fall (SON) | 5.03 m/s | 120.50 W/m ² | 2.02 | 5.68 m/s |

Données disponibles en ligne

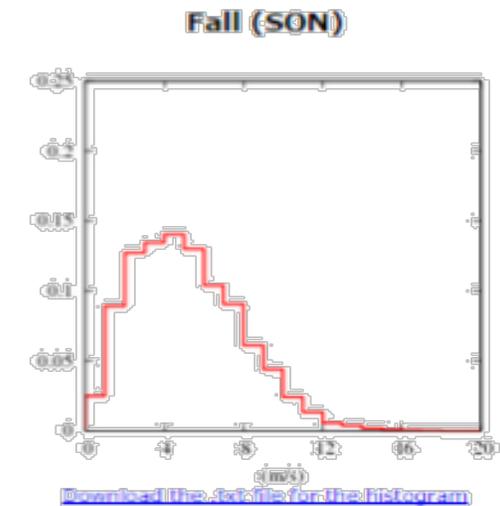
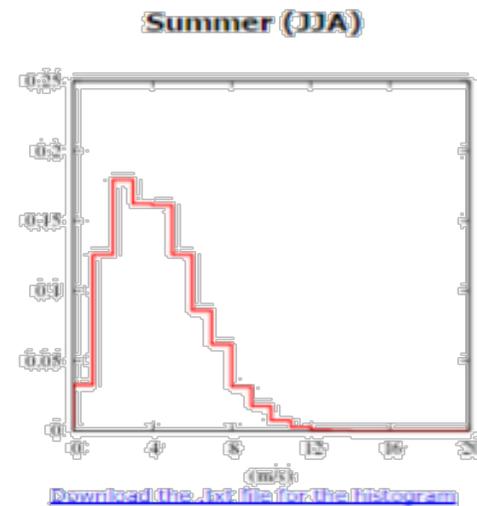
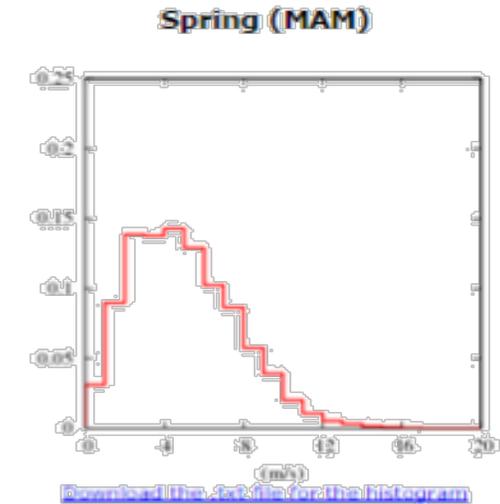
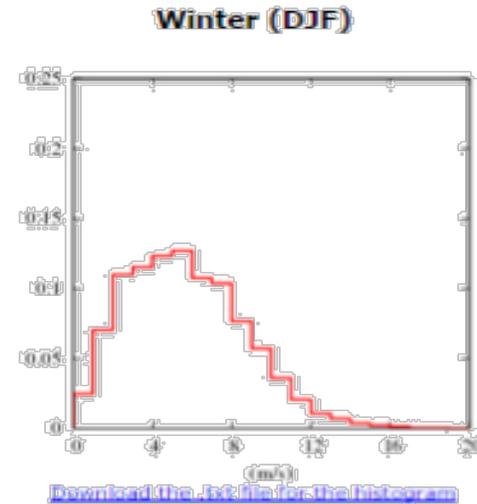
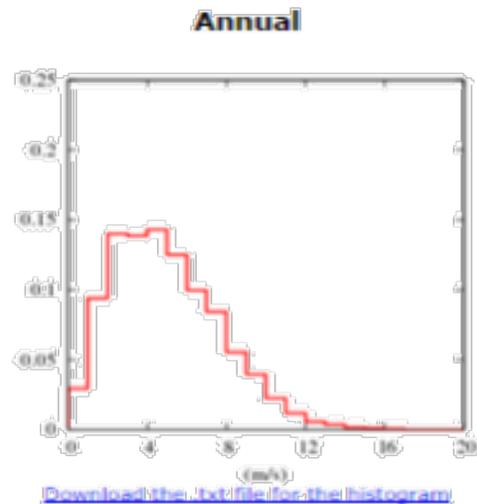
- Code postal → H4E 3C6
 - Rose des vents



Source: <http://www.windatlas.ca/>

Données disponibles en ligne

- Code postal → H4E 3C6
 - Histogrammes



Source: <http://www.windatlas.ca/>

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Gisement canadien
- Données disponibles en ligne
- ***Mesures***
- Conclusion

Mesures

- Les mesures de vent dans l'écoulement
 - Mesure de la vitesse (anémomètres à vitesse)
 - Anémomètre à coupelles
 - Anémomètre à hélice
 - Anémomètre à fil chaud
 - Anémomètre à moulinet
 - Anémomètre sonique
 - Anémomètre à résonance acoustique
 - Anémomètre laser



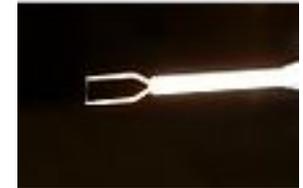
Anémomètre à moulinet



Anémomètre à hélice



Anémomètre à coupelles



Anémomètre à fil chaud



Anémomètre sonique

Parfois chauffés pour éviter les problèmes de givrage en milieu nordique

Mesures

- Les mesures de vent dans l'écoulement

- Mesure de la pression (anémomètres à pression)

- Anémomètre à plaque (Santorio, vers 1625)
 - Anémomètre à boule (Daloz, vers 1900)
 - Anémomètre à tube (ancêtre du suivant)
 - Anémomètre à tube de Pitôt (Henri Pitôt, vers 1730)

- Le tube de Pitot est un élément constitué de deux tubes coudés coaxiaux dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière.

- » L'un est placé orthogonalement au déplacement. Il est dans un fluide dont la vitesse relative est la vitesse à mesurer et dont la pression statique est la pression ambiante.
 - » L'autre est placé dans le sens de l'écoulement. Il a une vitesse relative nulle et une pression totale qui est la somme de la pression dynamique et de la pression statique.

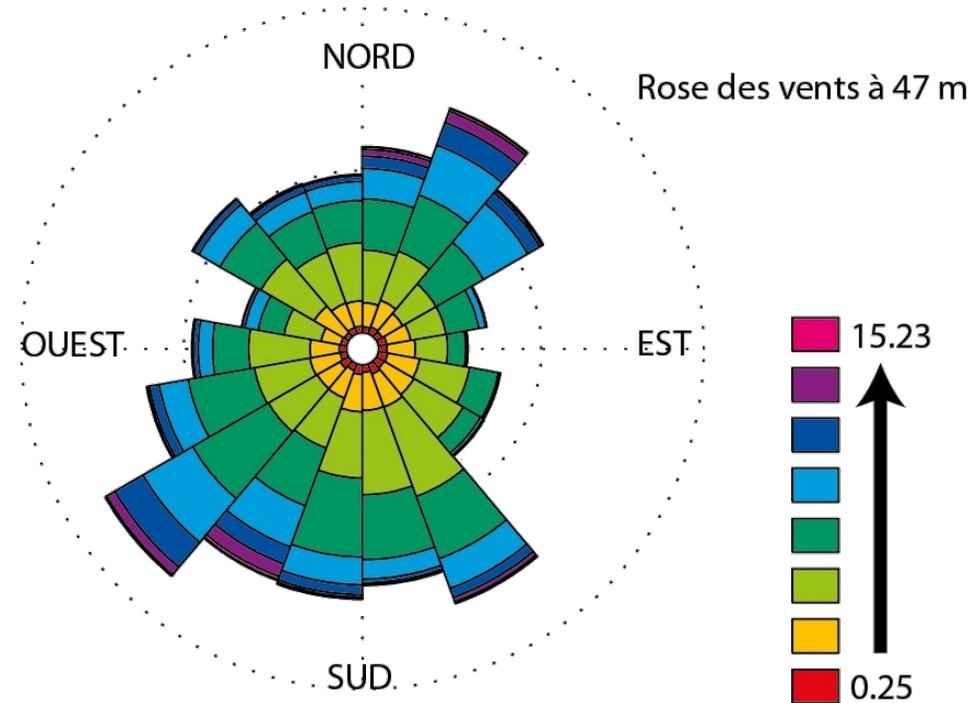
Mesure indirecte de la vitesse

Mesures

- Les mesures de vent dans l'écoulement
 - Mesure de la direction
 - Vanne de direction
 - Girouette

Mesures

- Les instruments précédents sont montés dans des tours de mesures pour atteindre les hauteurs à étudier
 - données mesurées à la hauteur de la nacelle des futures éoliennes



Mesures

- Mât de mesure

Un mât de mesure manométrique



Vue d'ensemble entre
Saulnot et Granges-le-Bourg.



Détail du sommet avec
anémomètre, girouette et
antenne.



Les boîtiers
d'analyse.



Les
panneaux
solaires.

Source Wiki, Potentiel éolien, 2019.

Question



ENR2020

- Quels sont les problèmes liés à l'utilisation de tours de mesures?

Elles provoquent des interférences électromagnétiques

Elles impliquent des coûts importants

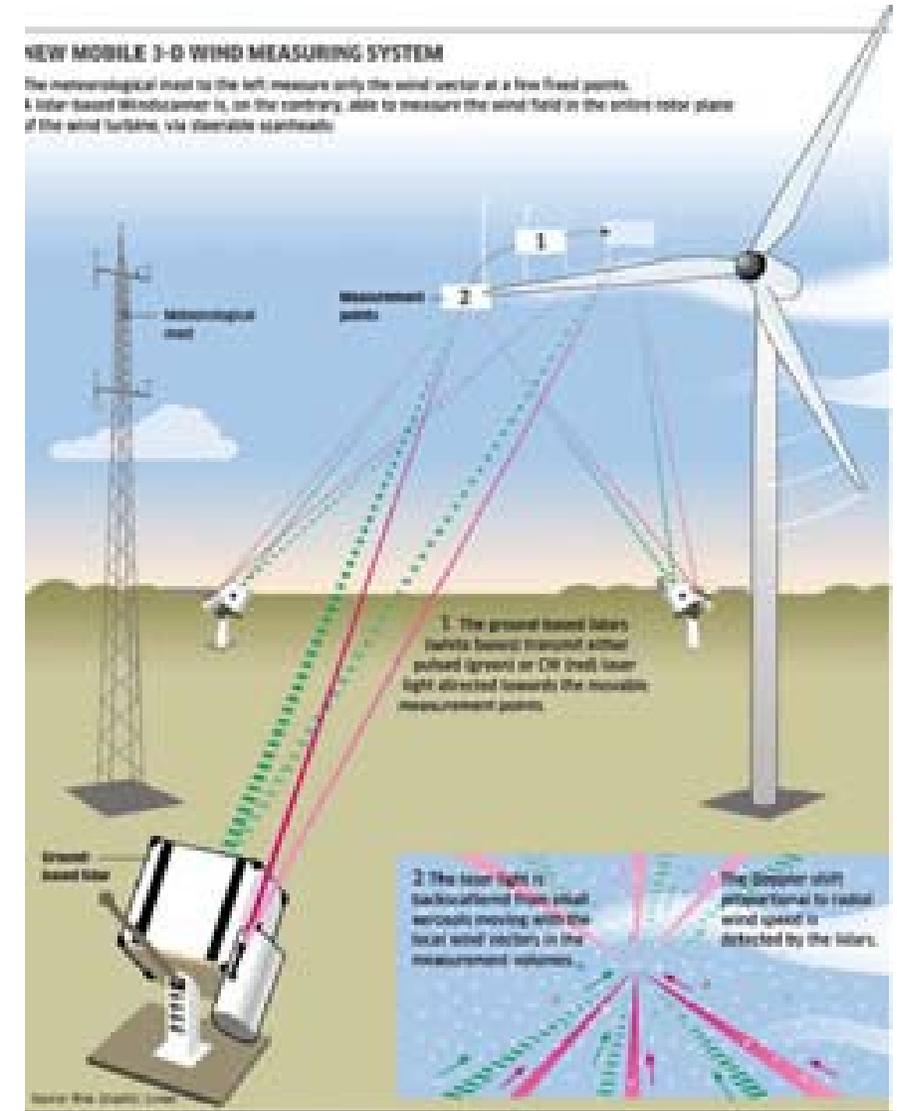
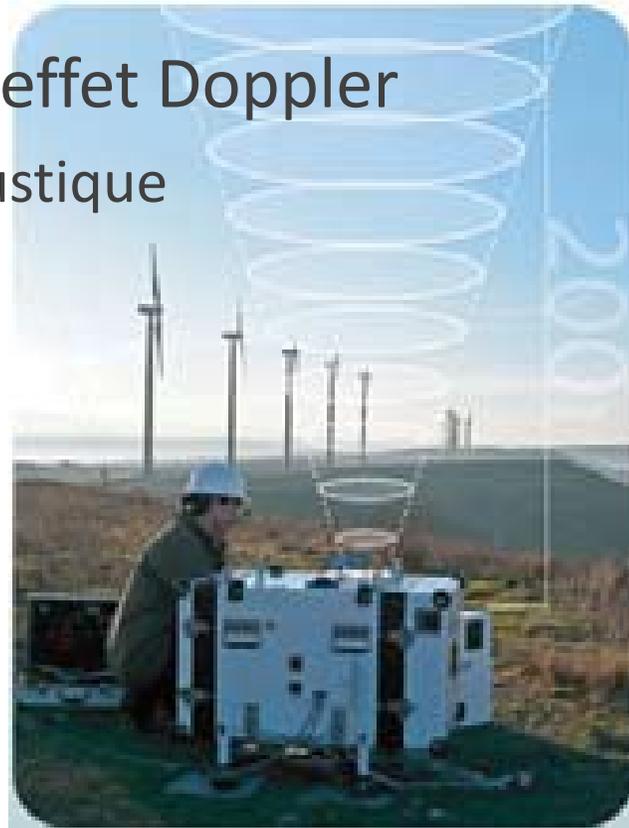
Elles perturbent l'écoulement et cela influence les mesures

Elles perturbent l'écoulement et cela influence le rendement du parc

Aucune de ces réponses

Mesures

- Les mesures de vent à distance à partir du sol
 - Anémomètre à effet Doppler
 - SODAR → acoustique
 - LIDAR → laser



Source: cours ETS SYS847 – Technologie Éolienne

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Gisement canadien
- Données disponibles en ligne
- Mesures
- ***Conclusion***

Conclusion

- Obtenir une estimation précise des ressources disponibles peut être extrêmement compliqué et onéreux;
- Quand cela est possible, une étude à partir des bases de données disponibles est donc à favoriser;
- Les données pour un site non répertorié peuvent être modélisées à partir de logiciels tels Wind Modeler;
- Si des mesures sont indispensables, une attention toute particulière doit être portée sur la fiabilité (et la calibration) des appareils utilisés.

Références

- Ministères de l'Énergie et ressources naturelles du Québec. (2018). Projets éoliens au Québec. <https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/projets-eoliens-au-quebec/>
- Ministères de l'énergie et ressources naturelles du Québec. (2018). Le potentiel éolien au Québec. <https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/potentiel-eolien-quebec/>
- Hydro-Québec. (2019). L'énergie éolienne au Québec. <http://www.hydroquebec.com/comprendre/eolienne/energie-eolienne-quebec-hq-distribution.html>
- Gouvernement du Canada. (2019). Atlas éolien. <http://www.windatlas.ca/>
- Christian Masson. (2019). SYS847: Technologie éolienne. École de technologie supérieure.
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L., "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application", Wiley, Second edition, 2009.

Ne vous inquiétez pas!





Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

