

## 12. L'énergie éolienne

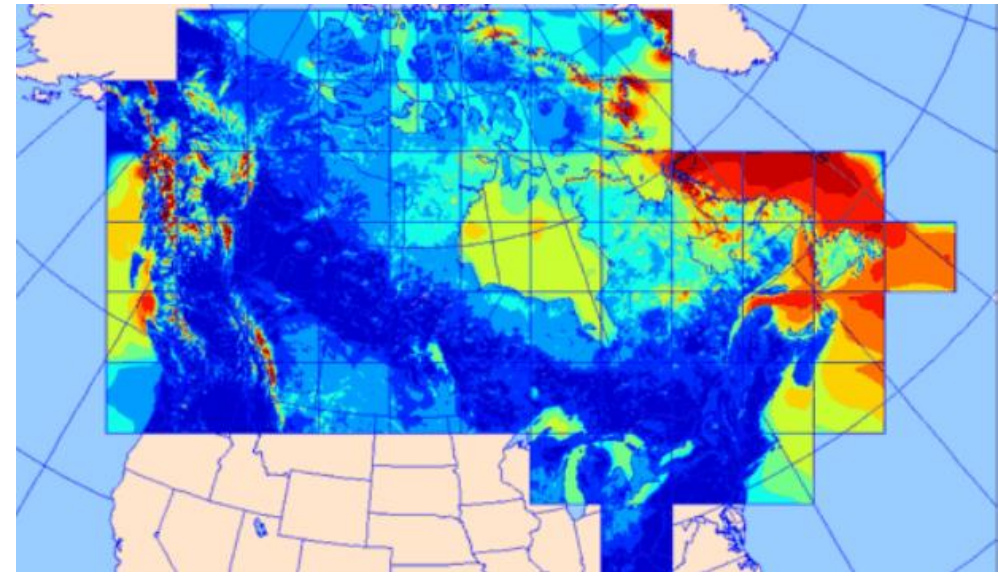
### 12.6 – Ressource éolienne

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

*Groupe t3e, Département de génie mécanique*

Mathieu Patin, M.ing.

Antoine Brégaint, M.Sc.A.



# 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.

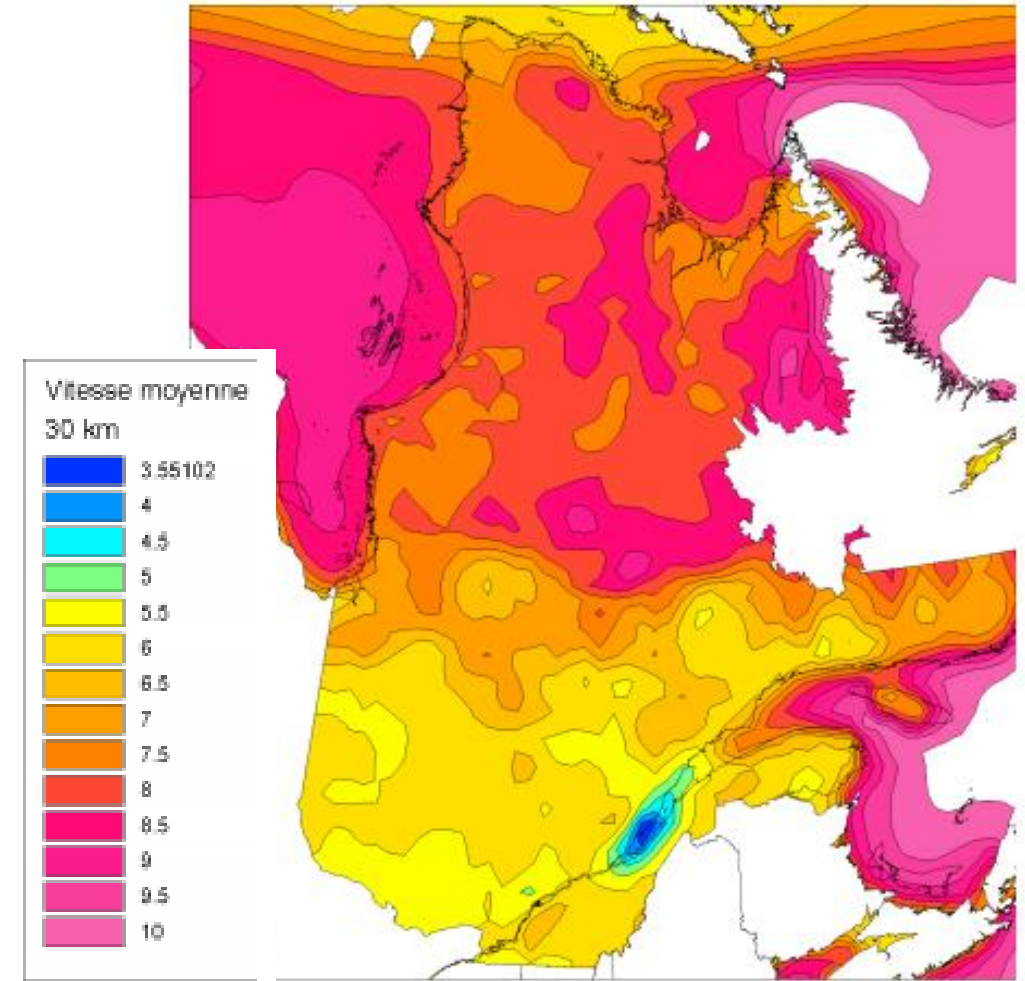


Fig.2. Vitesse moyenne sur l'ensemble du Québec, modélisation WEST à 30 km de maille Évalué à 80 m au-dessus du sol. Intervalle de contour de 0.5 m/s.

# Question

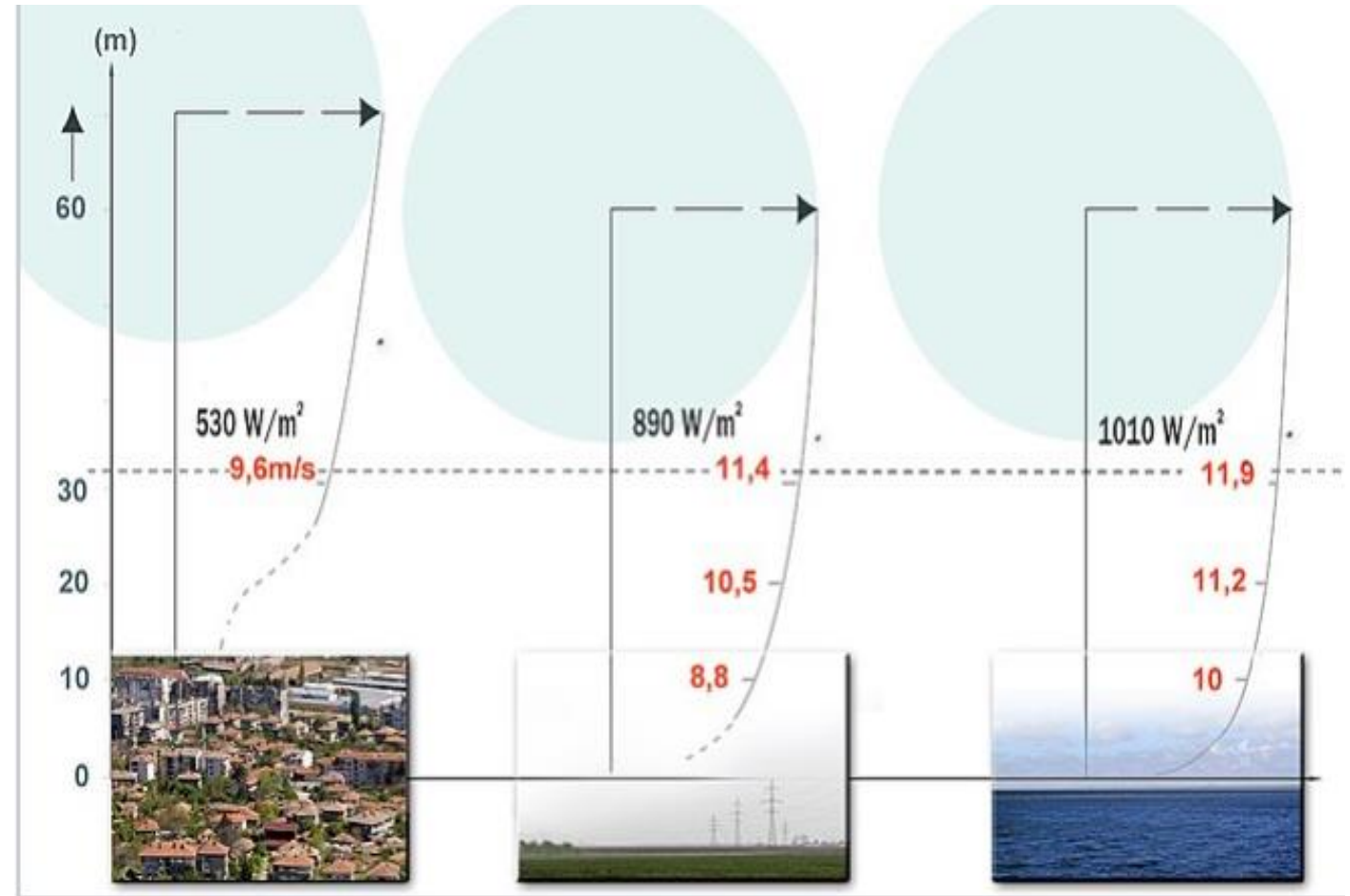


ENR2020

- 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!



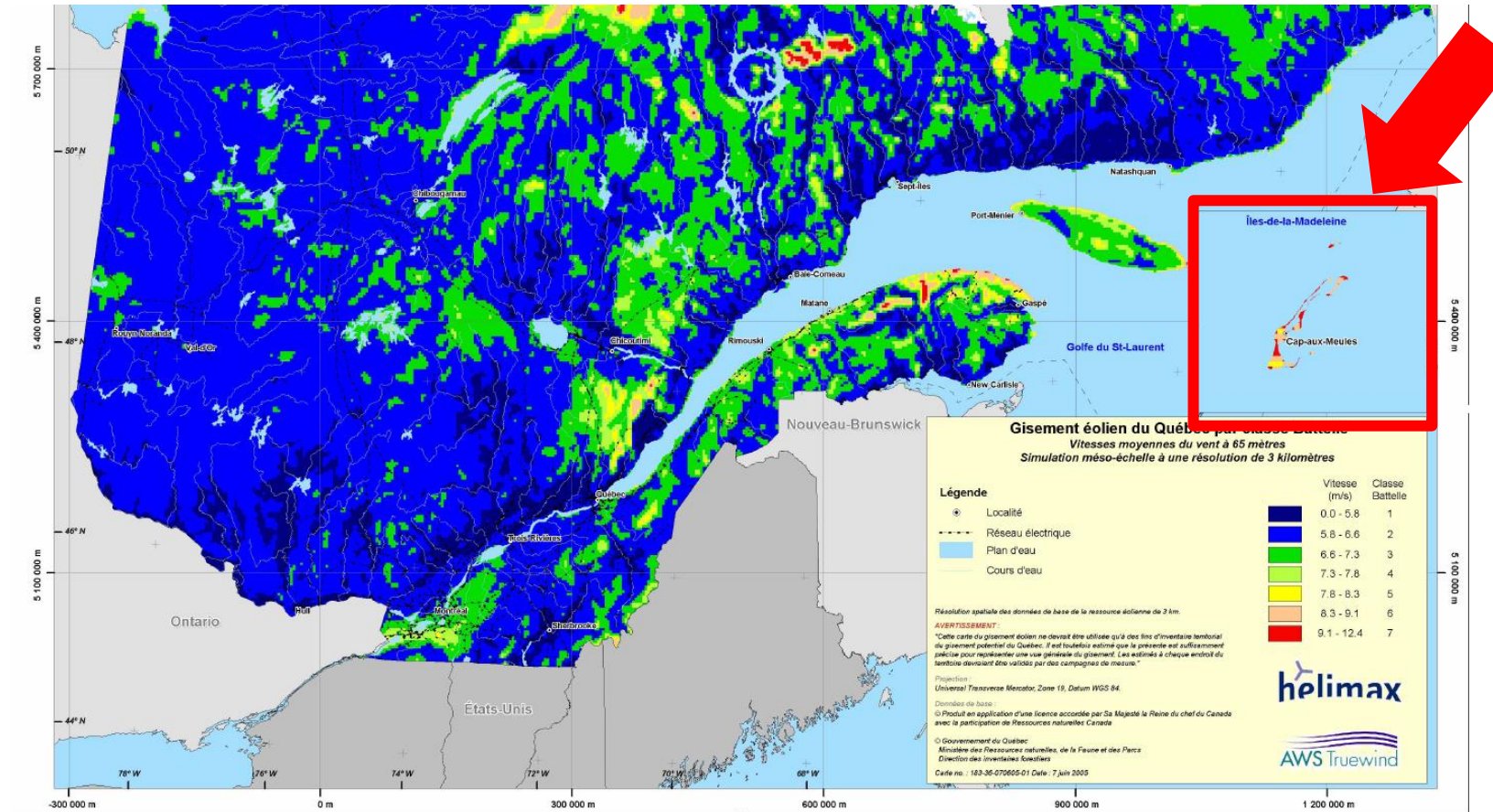
# Gisement canadien

- 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

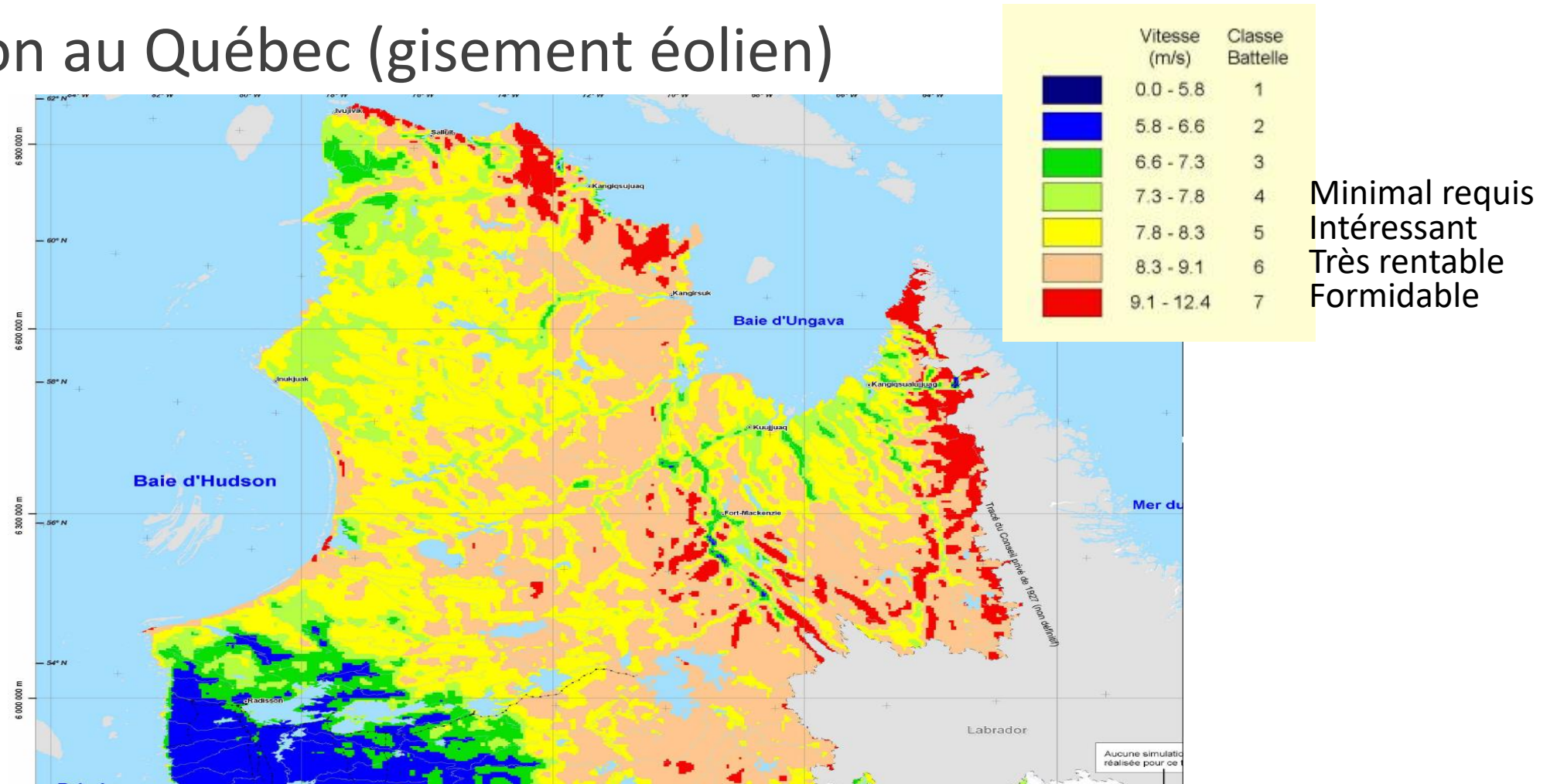
- Situation au Québec (gisement éolien)



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

# Gisement canadien

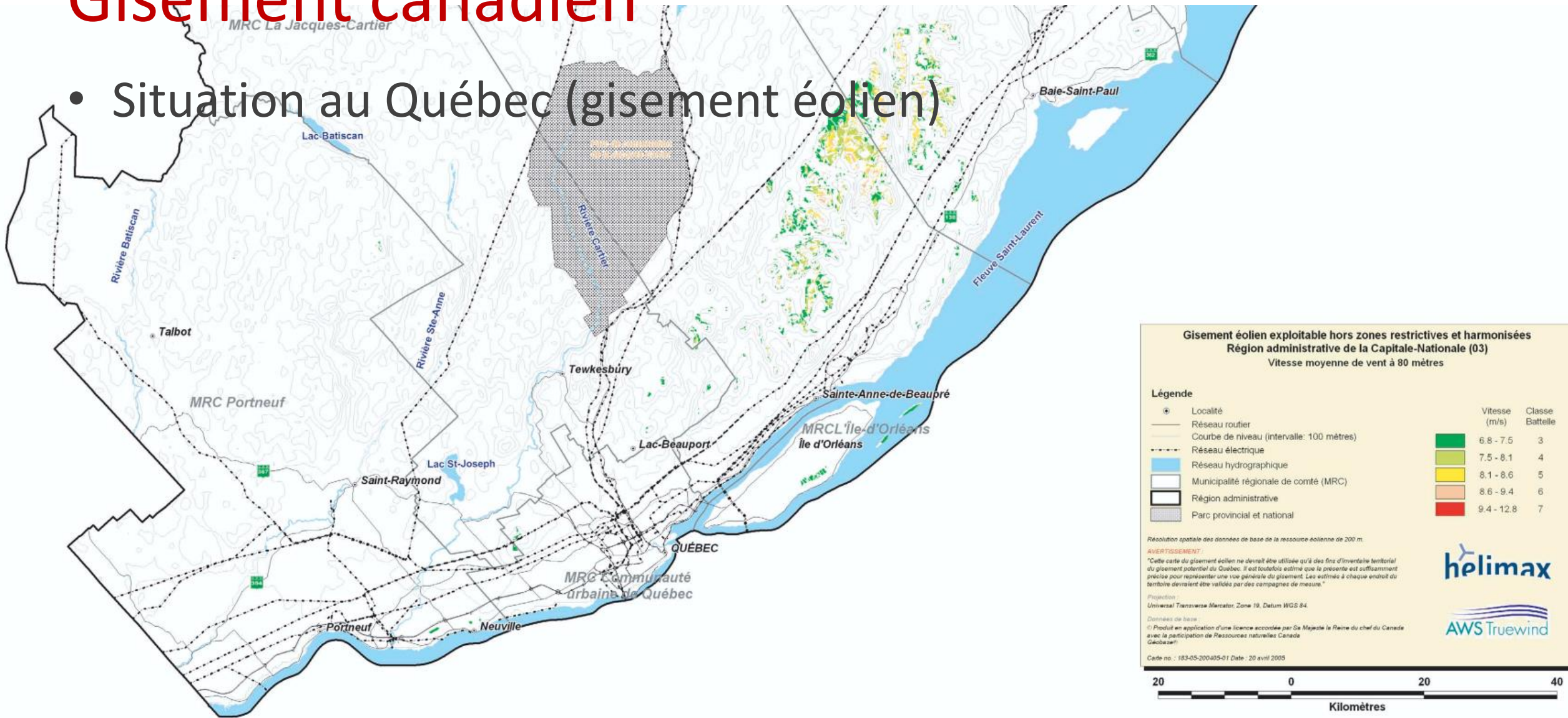
- Situation au Québec (gisement éolien)



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)

		Potentiel éolien	Limite réseau avec renforcement	Limite réseau avec ajout d'infrastructure
	Région administrative	MW	MW	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

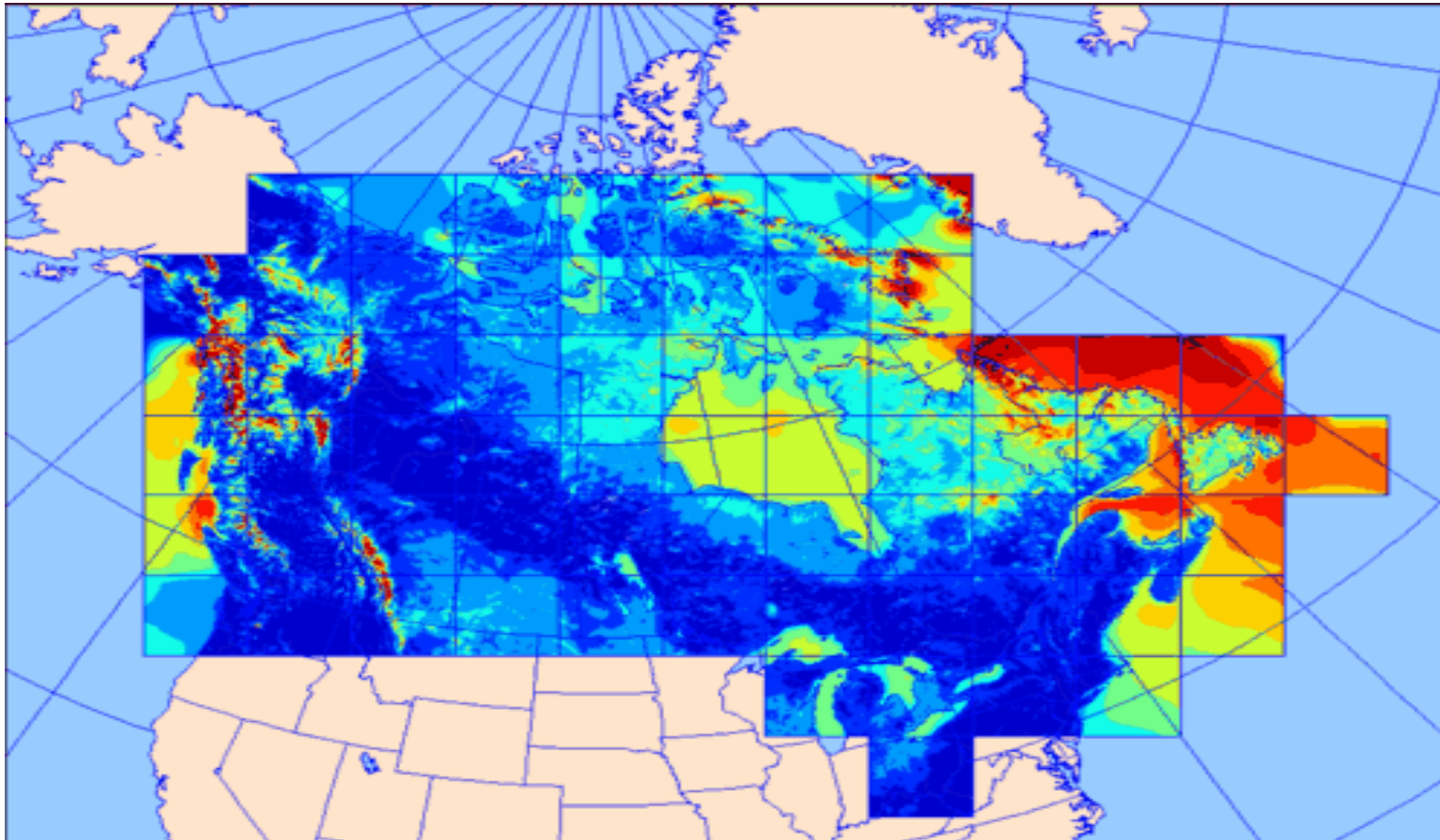


ENR2020

- 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/>

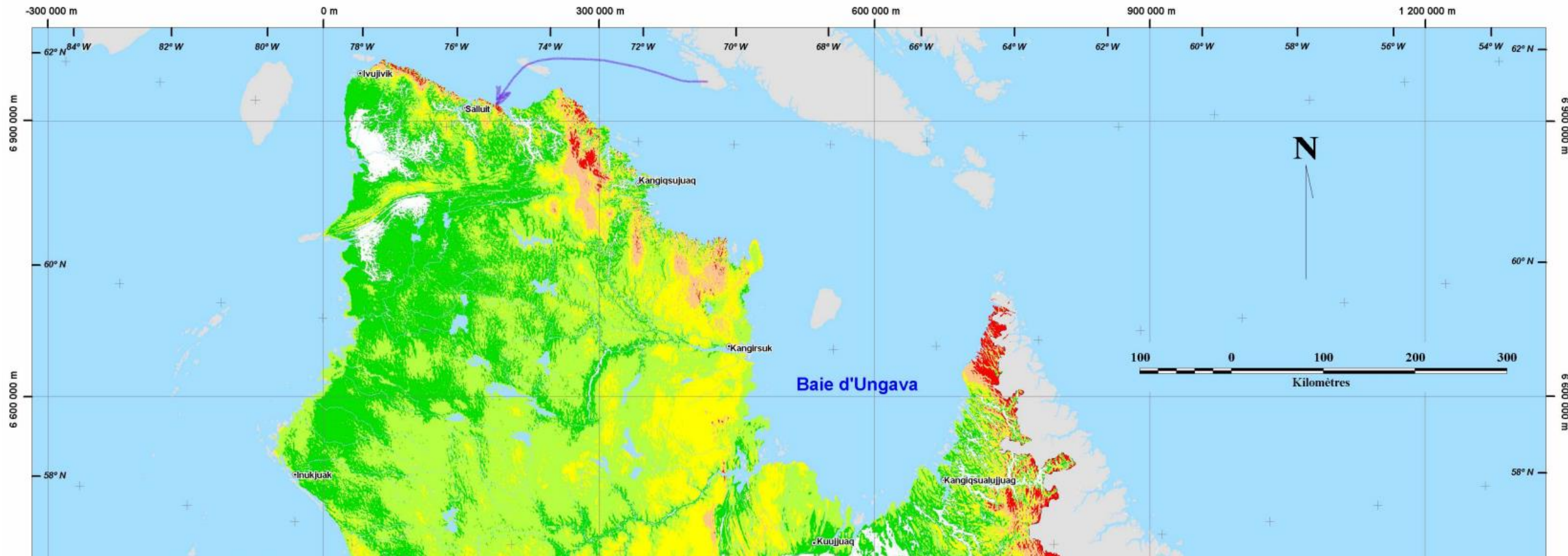
# Gisement canadien

- 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

# 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)

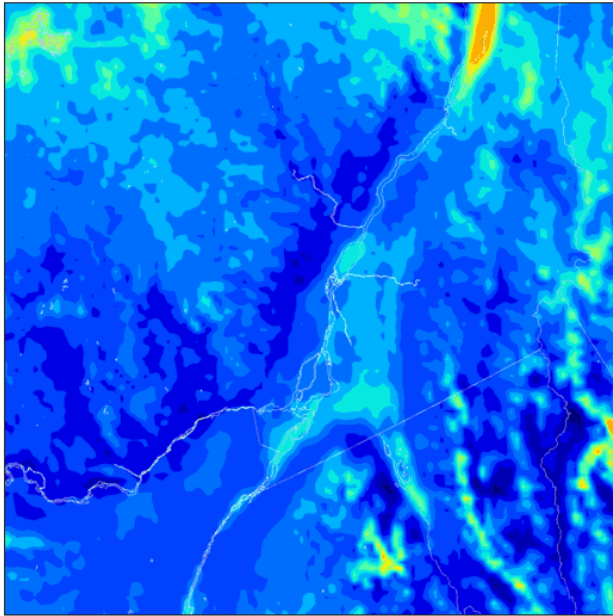
**Display Options**

- 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)



**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 website interface. On the left, there are several control panels: 'Navigation' with a map and 'Click on the map to change the current tile:'; '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 main area 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 from 0 to 1000. Below the heatmap is a 'Cart' section with 'Add', 'Remove', and 'Contents' buttons, and a 'Tools' section with a 'Help' button. At the bottom, there is a 'Compare with real-life observations' section with a 'Compare' button. A text box at the bottom of the heatmap area provides coordinates: 'Values, wind roses, wind speed histograms, turbine formula at a point. Latitude/longitude under the cursor: Lat.=46.555 Long.= -76.449. Click on the map, enter a latitude/longitude or enter a postal code to display information. Lat.: [input] Long.: [input] or Postal code: [input]. Submit Clear'. A red arrow points to the 'Submit' button.

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

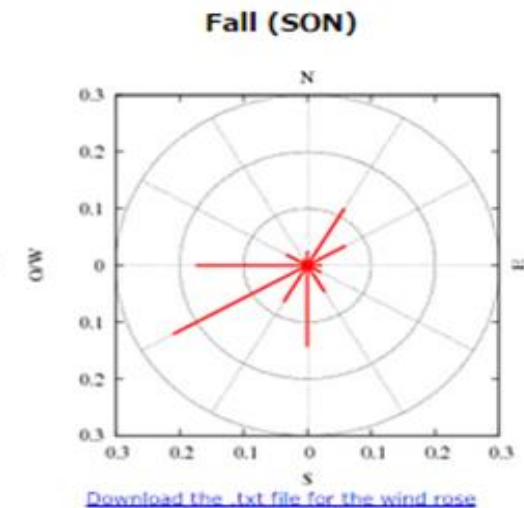
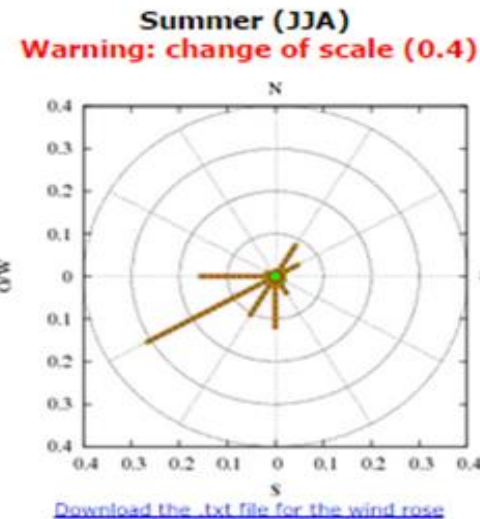
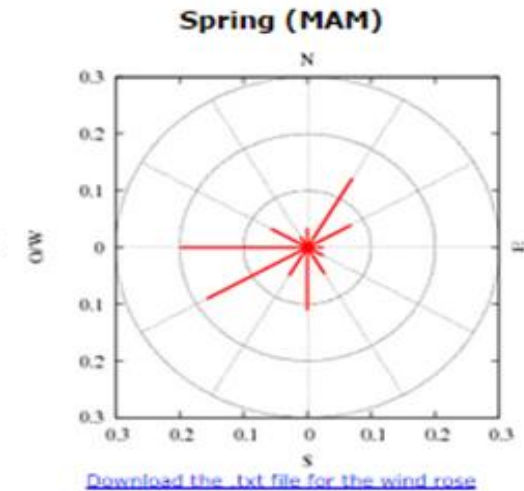
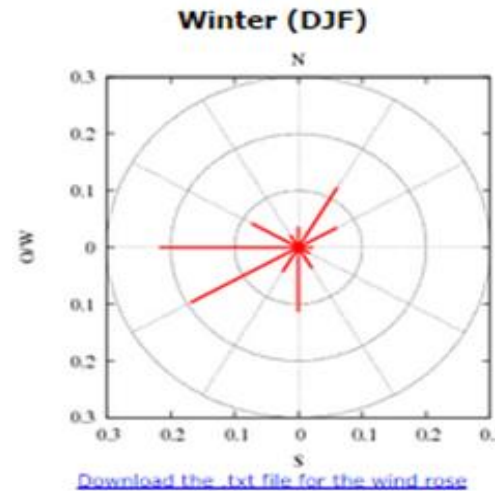
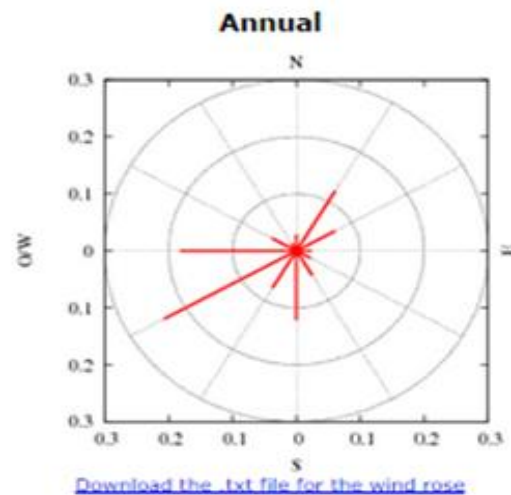
# Données disponibles en ligne

- Code postal → H4E 3C6

Values	Roses	Histograms	Turbine formula	
<b>Numerical Values at 50m</b>				
Source: <a href="http://www.windatlas.ca/">http://www.windatlas.ca/</a>				
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 <sup>2</sup>	1.95	5.50 m/s
Winter (DJF)	5.54 m/s	157.75 W/m <sup>2</sup>	2.05	6.25 m/s
Spring (MAM)	4.89 m/s	111.38 W/m <sup>2</sup>	2.00	5.51 m/s
Summer (JJA)	4.11 m/s	64.94 W/m <sup>2</sup>	2.04	4.64 m/s
Fall (SON)	5.03 m/s	120.50 W/m <sup>2</sup>	2.02	5.68 m/s

# Données disponibles en ligne

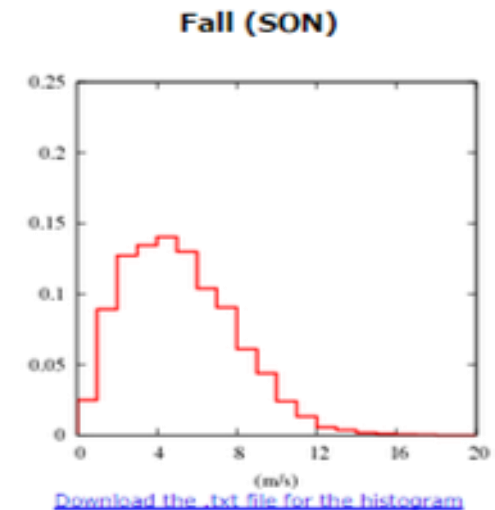
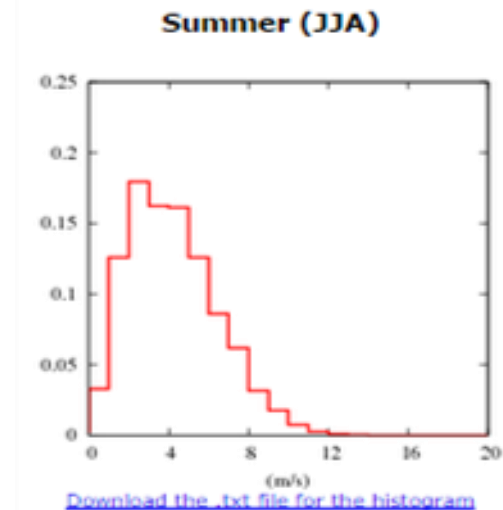
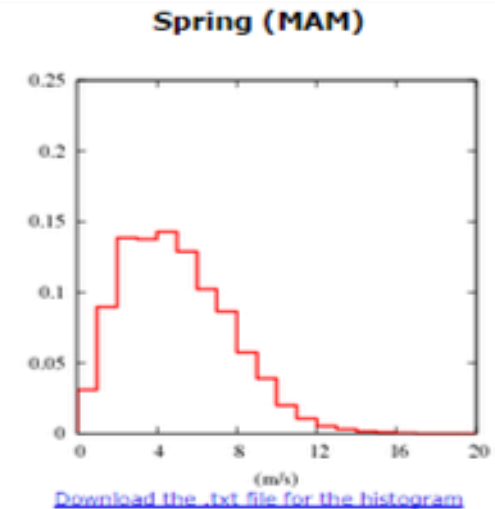
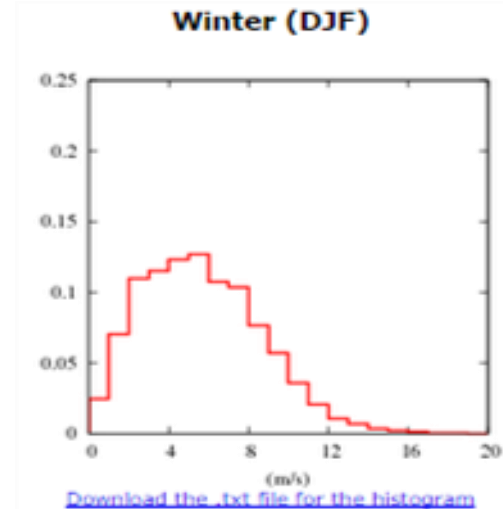
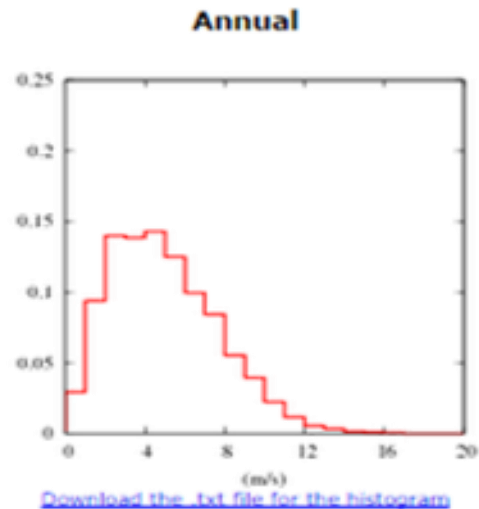
- Code postal → H4E 3C6
  - Rose des vents



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

# Question

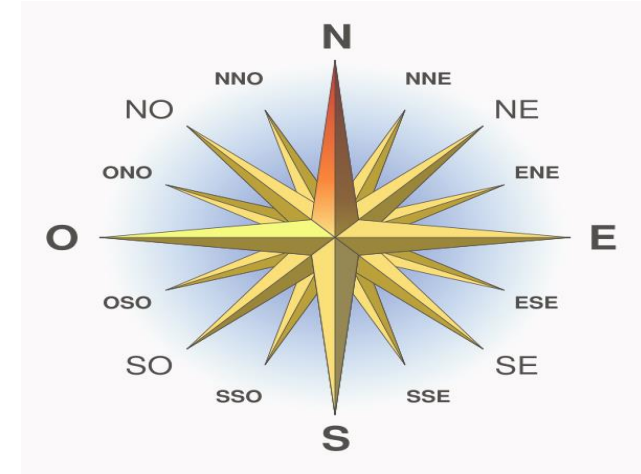


ENR2020

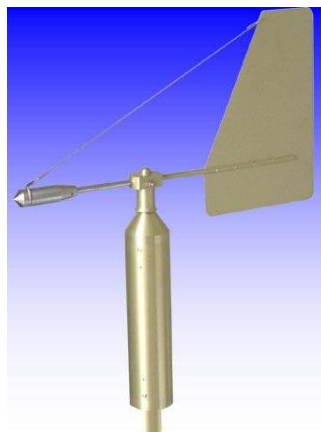
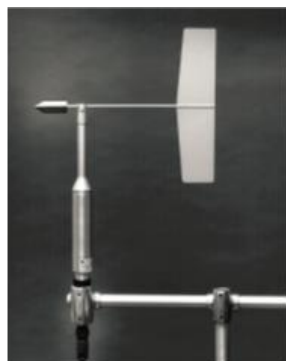
- Lequel de ces appareils mesure la direction du vent ?
  - A. Vanne de direction
  - B. Anémomètre à coupole
  - C. Anémomètre à hélice
  - D. LIDAR
  - E. Aucune de ces réponses

# Mesures

- Mesure de la direction et de l'orientation du vent :
  - Les girouettes ont pour fonction de mesurer l'orientation du vent. La direction du vent est déterminée par le côté où le vent souffle.
  - La girouette donne (en degrés) la direction des vents dominants pour une région (site) donnée.
  - Les girouettes doivent être positionnées sur un bras de déport horizontal placé aussi haut que possible sur le mât mais suffisamment éloigné du dernier anémomètre afin de réduire au maximum les effets de masque.
  - Le positionnement de la girouette s'effectue en utilisant l'orientation du bras de déport, une boussole et une carte topographique.



# Mesures



NRG Ice  
Free III



RM Young  
27106-T





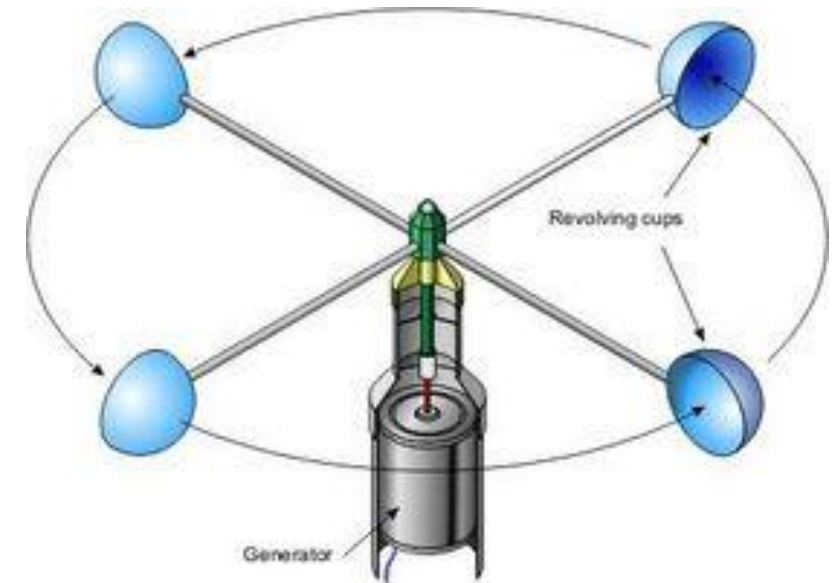
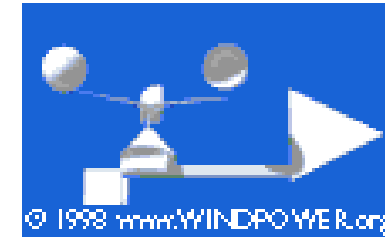
# Mesures

- Mesure de la vitesse du vent :
  - Les anémomètres sont utilisés pour mesurer la vitesse du vent.
  - Selon la taille du mât, 3 à 5 anémomètres peuvent être installés à diverses hauteurs afin de mesurer avec précision le profil vertical du vent.
  - Chaque anémomètre est calibré par un institut spécialisé en conformité avec les normes internationales (MEASNET).
  - La calibration s'effectue avant l'installation du mât de façon à garantir la qualité de la campagne.



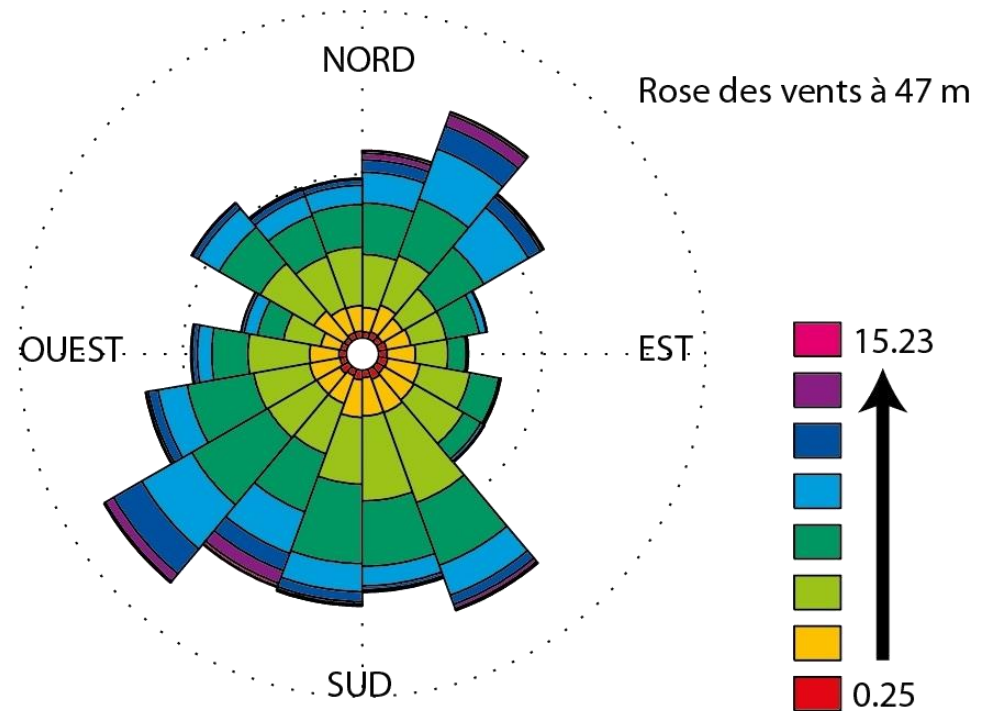
# Mesures

- Les anémomètres utilisés pour l'évaluation du gisement éolien se composent de trois demi-sphères tournant autour d'un axe vertical (anémomètres à coupes).
- En général, les appareils de mesure de la vitesse de vent peuvent être classifiés en fonction de leur principe de fonctionnement. On distingue des appareils fonctionnant :
  - par rotation (coupes, hélices)
  - par pression (tube de Pitot)
  - par fil chaud (fil conducteur)
  - par ultrasons (ultrasonique)
  - par ondes sonores audibles (Sodar)
  - par laser (Lidar)



# 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



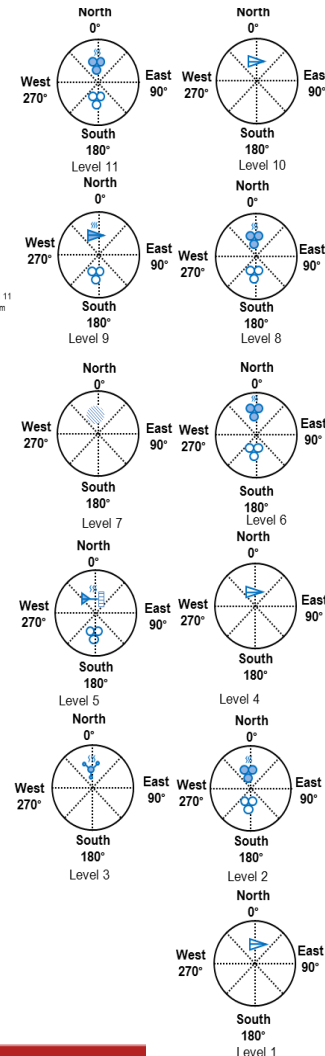
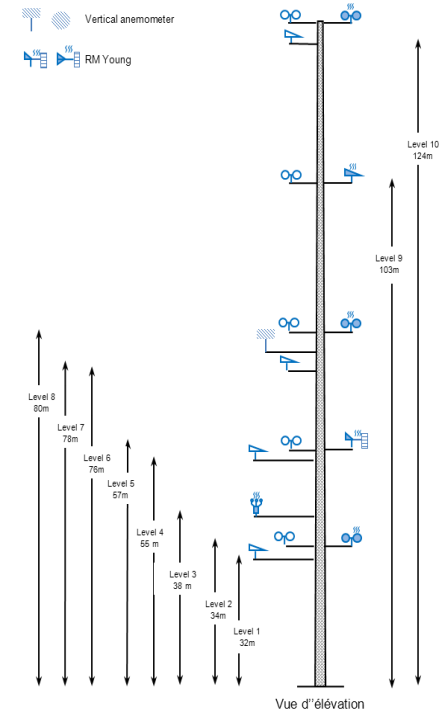
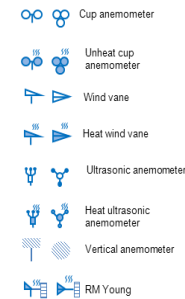
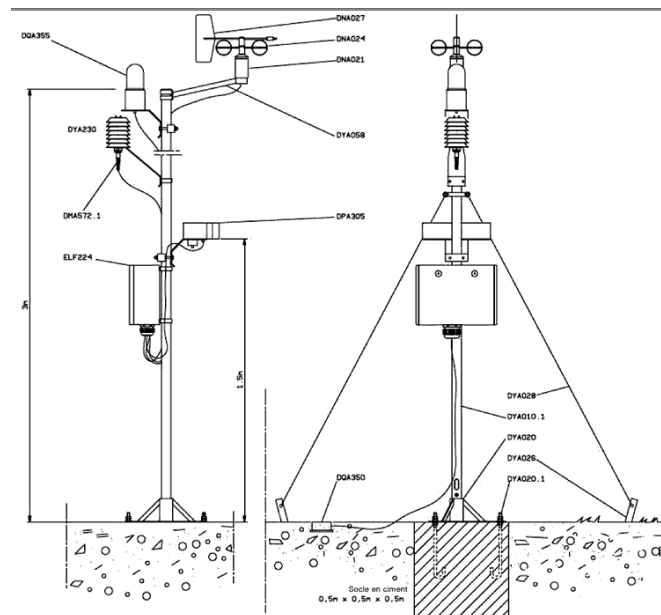
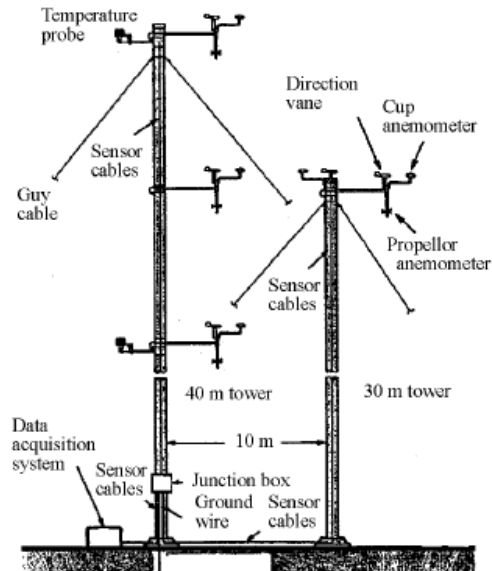
# Mesures

- Mâts de mesure :
- Anémomètres installés au bout d'une tige afin d'éviter l'effet d'abri du mât.
- Les plus utilisés sont les mâts haubanés, minces et cylindriques.
- Démontables, facile à assembler, on peut normalement les ériger sans grue.



# Mesures

- Un mât de mesure comporte généralement :
  - Des instruments météorologiques d'usage général
  - Des instruments météorologiques spécifiques pour l'estimation du potentiel éolien
  - Des instruments spéciaux pour la caractérisation de la turbulence (taux élevé d'échantillonnage)



# 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

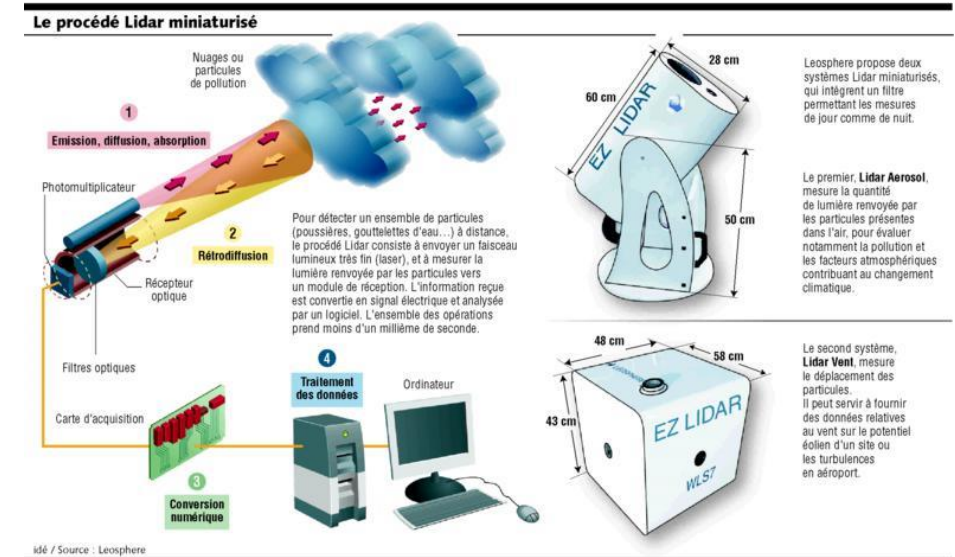
# Mesures

- Il est ainsi possible d'effectuer des mesures de la vitesse du vent depuis le sol :
- La technique **SODAR** est basée sur des impulsions acoustiques émises dans l'atmosphère. À partir des signaux réfléchis, la vitesse et la direction du vent peuvent être calculées à différentes hauteurs.
- Grâce au SODAR, il est possible de mesurer la vitesse et la direction du vent à des hauteurs allant de 20 à 150 m du sol.



# Mesures

- Il est ainsi possible d'effectuer des mesures de la vitesse du vent depuis le sol :
- La technique **LIDAR** est basée sur des impulsions optiques émises dans l'atmosphère. À partir des signaux réfléchis, la vitesse et la direction du vent peuvent être calculées à différentes hauteurs.
- Grâce au LIDAR, il est possible de mesurer la vitesse et la direction du vent à des hauteurs allant de 40 à 200 m du sol – un grand avantage est de pouvoir mesurer le vent au niveau du moyeu surtout en terrains complexes.



**WINDCUBE v2**  
LIDAR REMOTE SENSOR





# 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/>
- Hussein Ibrahim. (2022). 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

