

2. La ressource éolienne

2.3 Instruments et mesure de la vitesse du vent



Hussein Ibrahim, Ph.D. - Antoine Brégaint, M.Sc.A.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particuliers des climats nordiques
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particulier des climats nordiques
- Conclusion

Introduction et objectifs



- La campagne de mesures de vent est une étape cruciale dans le développement d'un projet éolien.
- La précision et la cohérence des données collectées sont essentielles pour la conception et l'optimisation du projet, ainsi que l'analyse de faisabilité et, en dernier lieu, le financement du parc.
- Plusieurs méthodes de mesure sont utilisées aujourd'hui par les analystes en ressource éolienne parmi lesquelles les plus répandues sont : le mât de mesure, le LIDAR et le SODAR.

Question

- Quels instruments mesurent spécifiquement la direction du vent ?
 - A. Les anémomètres à coupoles
 - B. Les SODAR
 - C. Les LIDAR
 - D. Les girouettes
 - E. Les tubes de Pitot

Introduction et objectifs

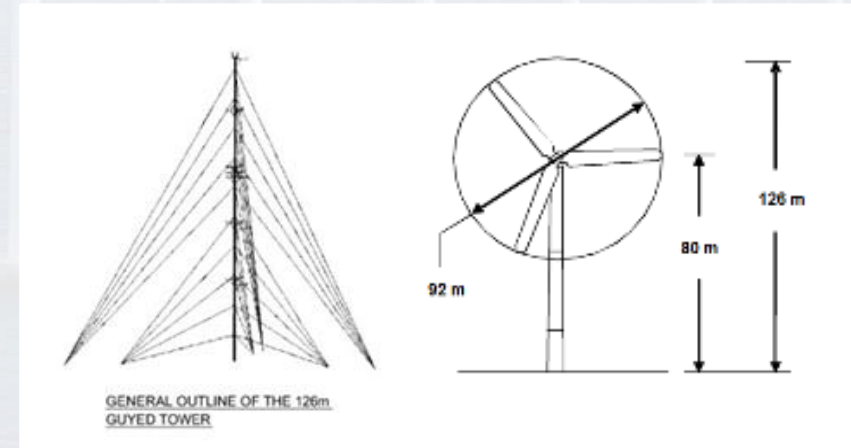
- L'objectif de cette présentation est de prendre conscience de la multitude de moyens pouvant être utilisés pour mesurer la vitesse du vent.
- Il est également possible de mesurer d'autres paramètres météorologiques. C'est dernier sont présentés dans cette capsule.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Mât de mesure***
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particulier des climats nordiques
- Conclusion

Mât de mesure

- Cette méthode consiste à effectuer des mesures météorologiques par le moyen d'un mât de taille variable, équipé de matériels de mesure et de collecte de données.
- Selon la taille et la complexité du terrain, plusieurs mâts peuvent être installés sur un même site.
- En vue de limiter au maximum les incertitudes liées à l'extrapolation verticale du profil du vent, la taille du mât doit de préférence être au moins égale aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur de moyeu de l'éolienne type qui sera retenue pour le site.



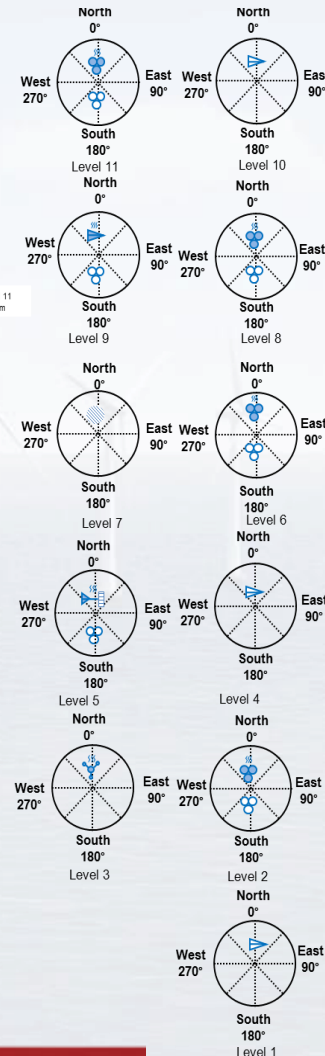
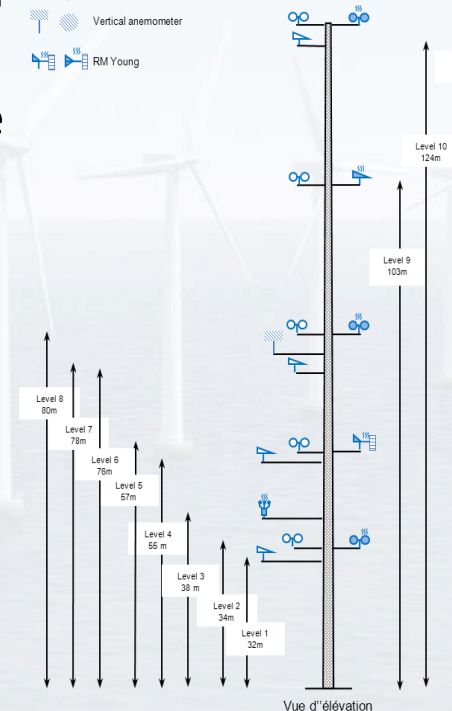
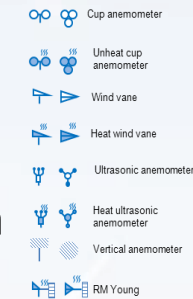
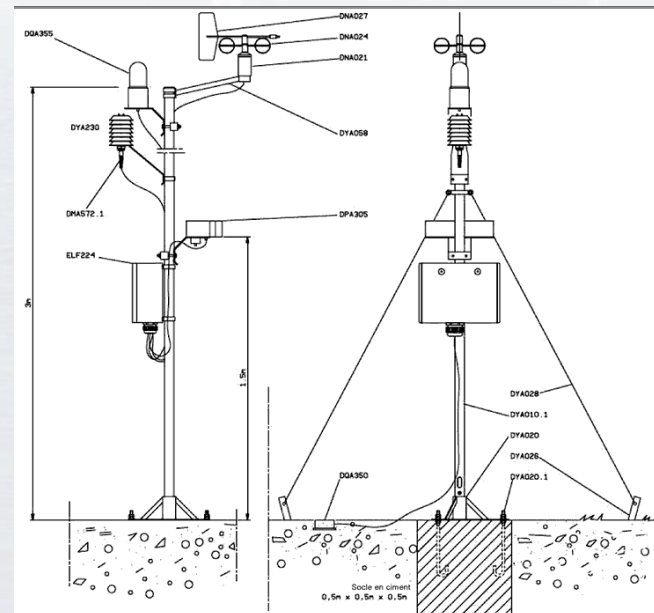
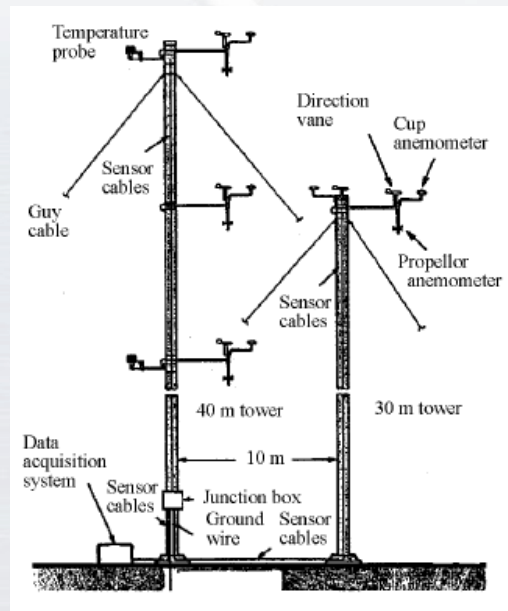
Mât de mesure

- 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.



Mât de mesure

- 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)

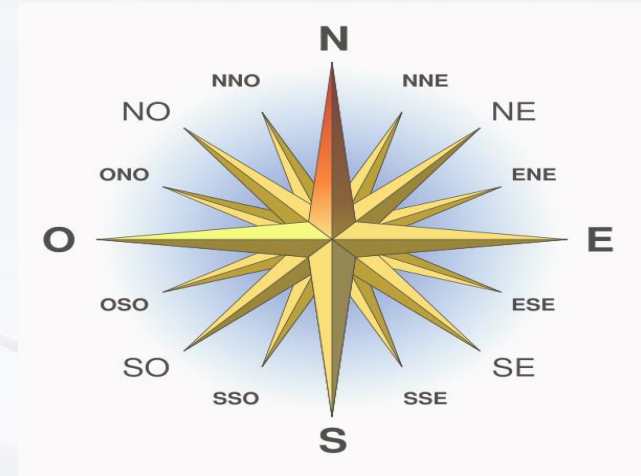


Plan de cette présentation

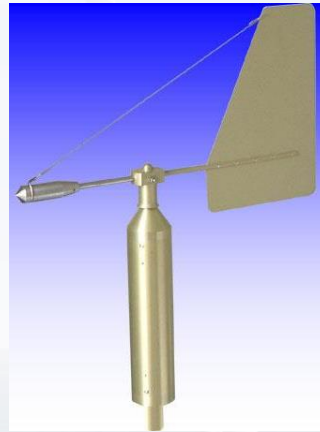
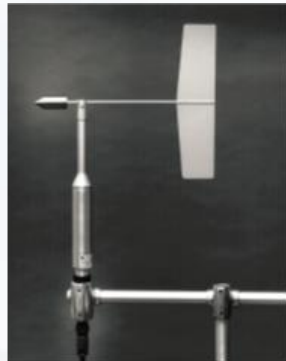
- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- ***Mesure de la direction du vent : les girouettes***
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particulier des climats nordiques
- Conclusion

Mesure de la direction du vent : le girouettes

- 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.
 - Un aimant céramique bipolaire passe devant deux capteurs à effet Hall disposés perpendiculairement.
 - Les sorties donnent le sinus et le cosinus de l'angle
- 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.



Mesure de la direction du vent : les girouettes



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- ***Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres***
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particulier des climats nordiques
- Conclusion

Question

- Lesquelles de ces technologies sont des types d'anémomètres ?
 - A. Les technologies à coupoles
 - B. Les technologies à hélices
 - C. Les technologies à pression
 - D. Les technologies à ondes sonores
 - E. Les technologies à ultrasons

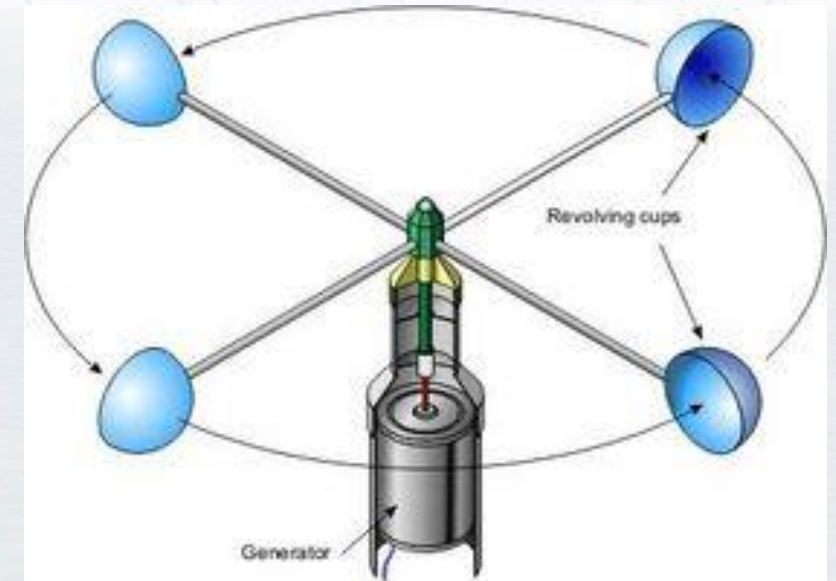
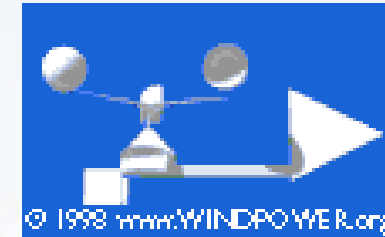
Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

- 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.
- La longueur des bras de déport est déterminée selon les normes CEI 61400.
- 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.



Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

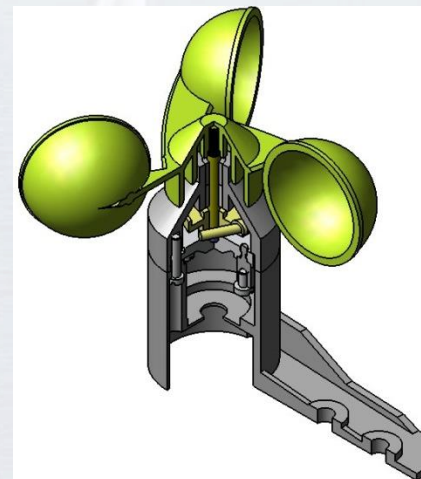
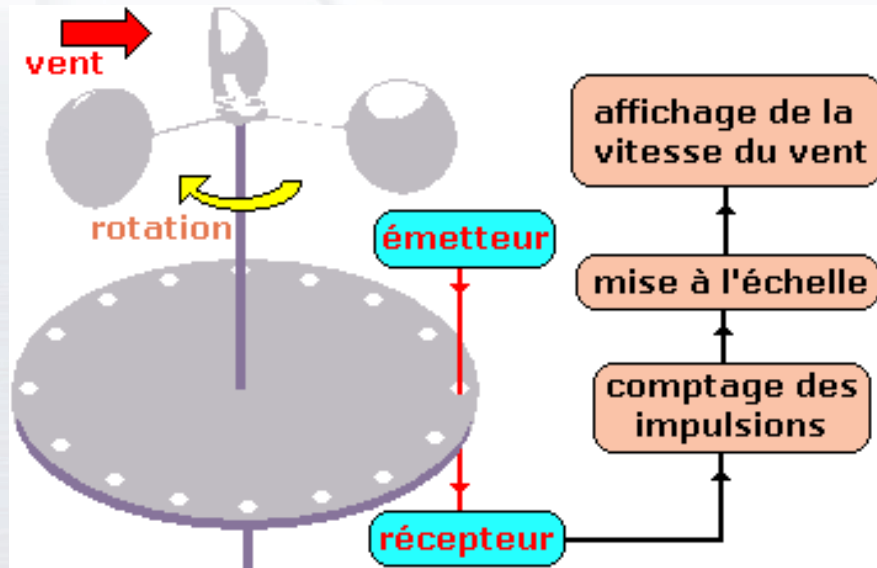
- Les anémomètres utilisés pour l'évaluation du gisement éolien se composent de trois demi-sphères tournant autour d'un axe vertical (anémomètres à coupes).
- En général, les appareils de mesure de la vitesse de vent peuvent être classifiés en fonction de leur principe de fonctionnement. On distingue 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)



Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

❖ Anémomètres fonctionnant par rotation (coupoles)

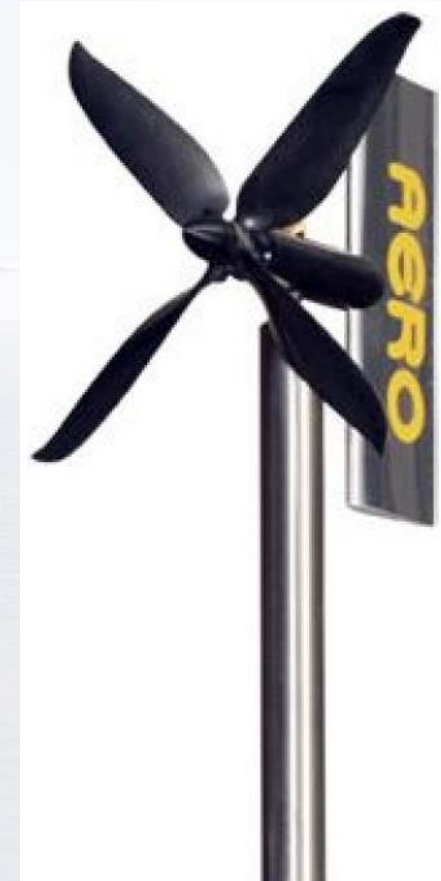
- L'anémomètre à coupoles obtient la vitesse du vent par comptage des impulsions pendant un temps donné.



Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

❖ Anémomètres fonctionnant par rotation (hélices)

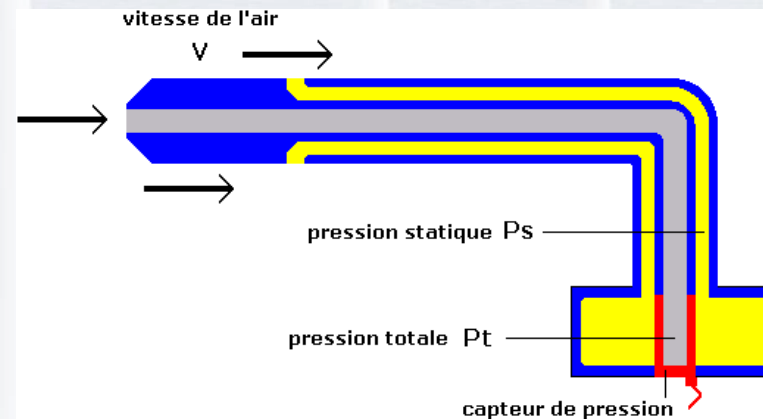
- Même principe de mesure que l'anémomètre à coupole.
- Ils sont couplés à une girouette et s'orientent dans la direction du vent.



Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

❖ Anémomètres fonctionnant par pression : type tube de Pitot

- Le tube de Pitot peut être utilisé comme anémomètre, pour application à la météorologie. En effet, sa mesure est en réalité celle du vent relatif. Si le dispositif est fixe, il mesure alors la vitesse du vent. Le tube de Pitot présente en outre l'avantage d'être un système très robuste, comportant peu de pièces mécaniques en mouvement susceptibles d'être endommagées.



LA SONDE PITOT

La défaillance de ces sondes de mesure de vitesse est considérée comme un élément contributif de l'accident de l'Airbus A330 d'Air France, qui a fait 228 morts le 1^{er} juin 2009 au large du Brésil

FONCTIONNEMENT DE LA SONDE PITOT

Prise de pression dynamique

Prise de pression statique

Capteur permettant le calcul de la vitesse

L'orifice de quelques mm², orienté vers l'avant, peut parfois se boucher, se remplir d'eau ou de givre

La sonde mesure deux pressions (dynamique et statique) dont la différence permet d'obtenir la vitesse

L'A 330 dispose de trois sondes Pitot indépendantes placées à l'avant de l'avion

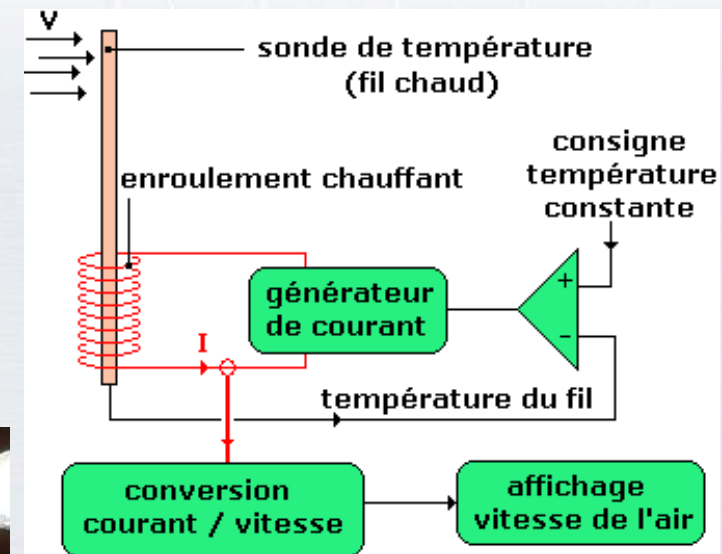
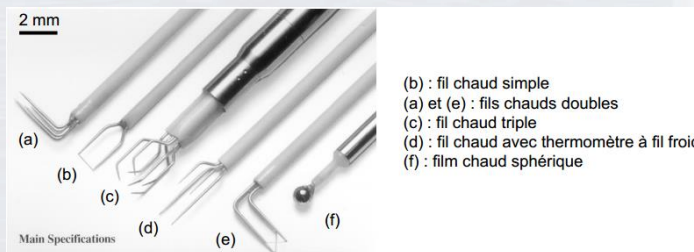
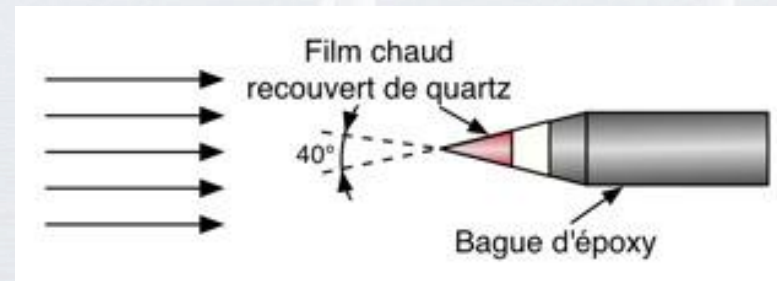
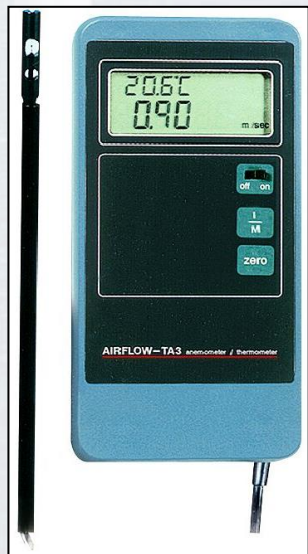
Sources : SNPL, Air France

idm REUTERS

Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

❖ Anémomètres fonctionnant par fil chaud (fil conducteur)

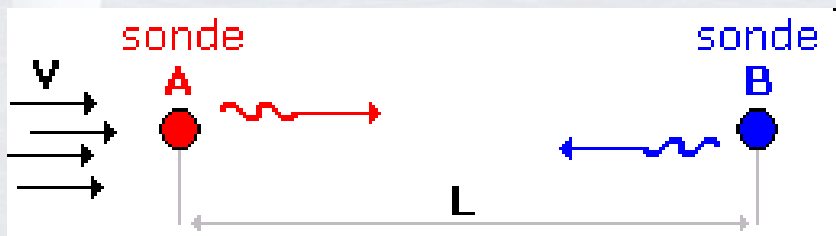
- L'anémomètre fil chaud fonctionne sur le principe du refroidissement du fil, chauffé par un courant électrique (effet Joule), la mesure de la puissance thermique transférée donne une mesure indirecte de la vitesse de l'écoulement.



Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres

❖ Anémomètres fonctionnant par ultrasons : de type sonique et ultrasonique

- 2 sondes à ultrasons (émetteur-récepteur) sont placées dans le flux d'air
- L'appareil obtient la vitesse du vent à partir de la mesure des temps t_1 et t_2
- t_1 : temps mis par l'onde sonore pour aller de A vers B
- t_2 : temps mis par l'onde sonore pour aller de B vers A



Metek USA-1



Mesure de la vitesse du vent : le Sodar

❖ Appareils fonctionnant par ondes sonores audibles (Sodar)

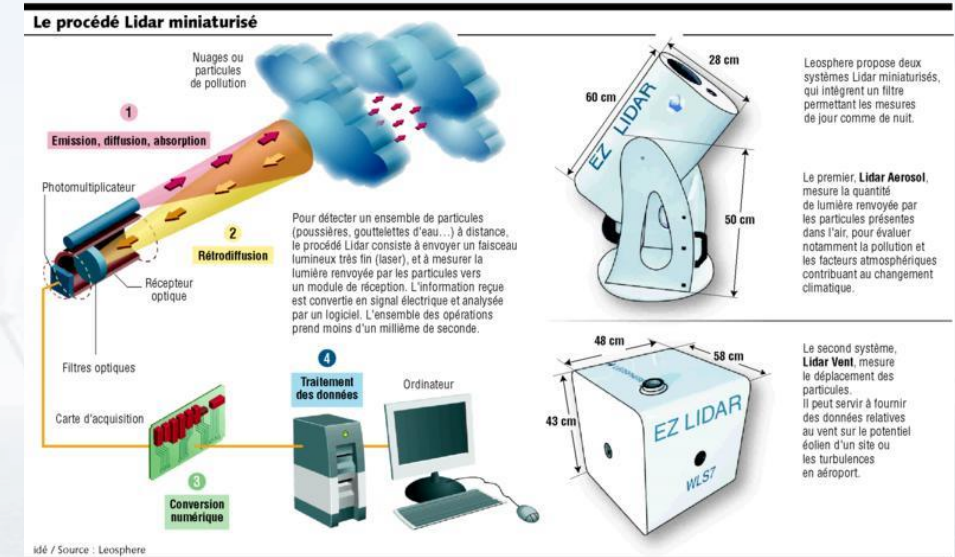
- La technique SODAR est basée sur des impulsions acoustiques émises dans l'atmosphère. À partir des signaux réfléchis, la vitesse et la direction du vent peuvent être calculées à différentes hauteurs.
- Grâce au SODAR, il est possible de mesurer la vitesse et la direction du vent à des hauteurs allant de 20 à 150 m du sol.
- L'utilisation du SODAR est pratique pour les sites de mesures sans raccordement électrique car cette technologie est équipée d'une alimentation électrique autonome.



Mesure de la vitesse du vent : le LIDAR

❖ Appareils fonctionnant par laser (Lidar)

- 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.
- Le LIDAR est facile à installer et permet d'économiser une mesure onéreuse à hauteur du moyeu réalisée avec un mât très haut.
- L'utilisation du LIDAR est pratique pour les sites de mesures sans raccordement électrique parce qu'il est équipé d'une alimentation électrique autonome.



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- ***Mesure d'autres paramètres météorologiques***
- Cas particulier des climats nordiques
- Conclusion

Mesure des autres paramètres météorologiques

- Capteur de température et d'humidité relative
- Capteur de précipitation : Pluviomètre
- Capteur de couverture nuageuse (mesure de la nébulosité)
- Capteur de visibilité : visibilimètre
- Capteur de givre : givromètre
- Capteurs de radiations solaires : pyranomètre, bilanmètre



Pluviomètre



Capteur de couverture nuageuse



Visibilimètre



Micro Rain Radar
(radar de récipitations)



Givromètre d'Hydro-Québec



Pyranomètres

Site Web sur les capteurs :

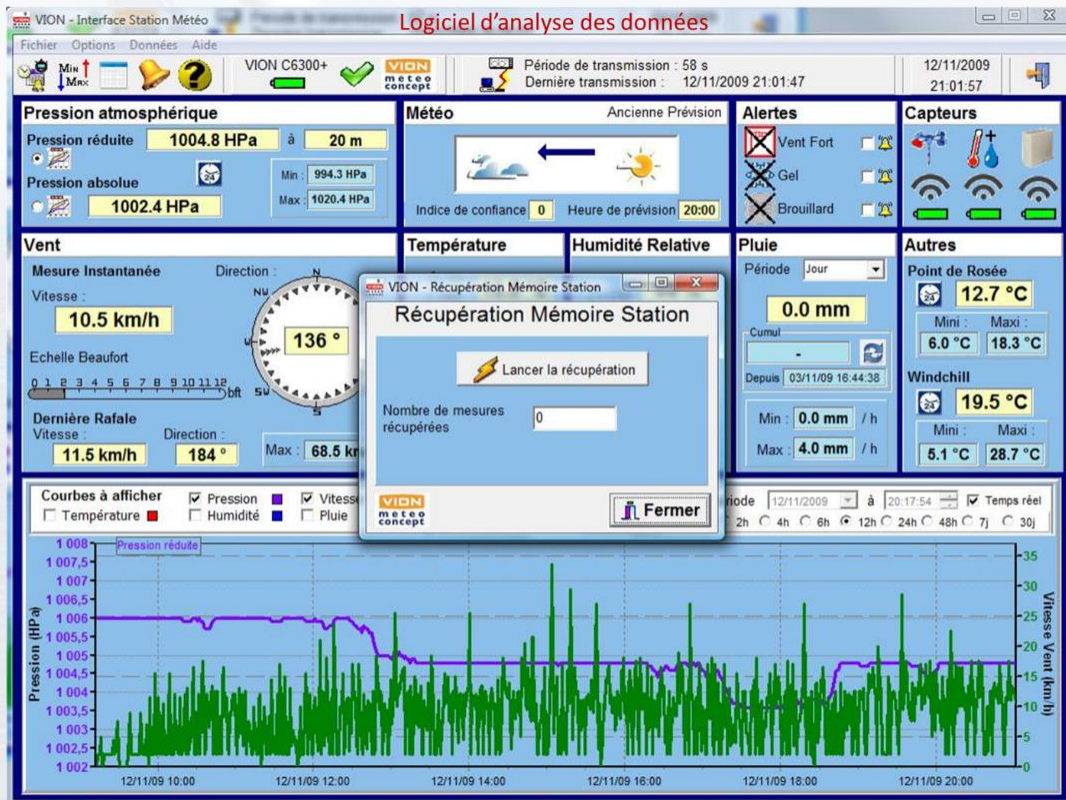
<http://www.alliance-technologies.net/meteo/PRODUITS/produits.htm>

Mesure des autres paramètres météorologiques

- Système d'acquisition des données : datalogger
- Équipements de télécommunications et transmission de données
- Logiciels de traitement des données



Système d'acquisition des données (Datalogger)



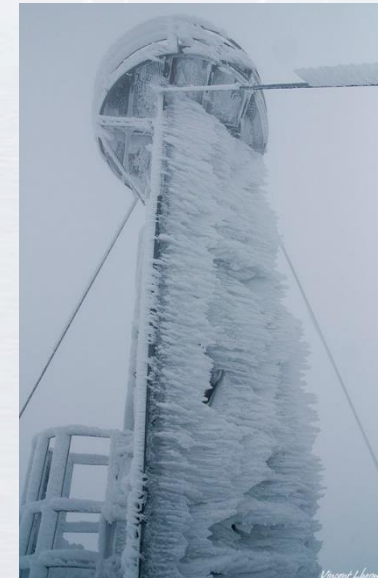
Appareils de communication

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- ***Cas particulier des climats nordiques***
- Conclusion

Cas particulier des climats nordiques

- Dans les climats nordiques, de nombreuses contraintes dues au givrage atmosphérique s'appliquent au secteur éolien et notamment aux instruments de mesure.
- La masse supplémentaire qu'apporte le givre sur les mâts de mesure est notamment source d'effondrement des tours.



Cas particulier des climats nordiques

- Concernant les instruments de mesure, le givre atmosphérique est source de plusieurs contraintes :
 - Fonctionnement altéré
 - Ralentissement des anémomètres, girouettes, etc.
 - Détérioration de la qualité de données mesurées (données non cohérentes)
 - Contrôle de l'éolienne devient difficile voire impossible (le contrôleur de l'éolienne doit connaître la vitesse et direction du vent pour assurer un fonctionnement fiable)
 - Instruments givrés dans des conditions venteuses → Pertes de production significatives
 - Bris ou arrêt complet des instruments de mesure



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Mât de mesure
- Mesure de la direction du vent : les girouettes
- Mesure de la vitesse du vent : les anémomètres
- Mesure d'autres paramètres météorologiques
- Cas particulier des climats nordiques
- ***Conclusion***

Conclusion

- Les technologies présentées dans cette capsule permettent de déterminer les paramètres météorologiques essentiels au choix du site, de la conception du projet ...
- Il faut toutefois avoir en tête que ces technologies présentent des incertitudes plus ou moins importantes.
- Les résultats obtenus doivent donc être soigneusement étudiés avant de valider l'emplacement ou non d'un site.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



MERCI



Questions ?

Hussein IBRAHIM, Ph.D
Tél: 418-962-9848 # 340
cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca
Hussein_ibrahim01@uqar.ca
Hussein.ibrahim@itmi.ca