

11. Gestion du parc en condition nordique

11.1 Les contraintes en milieu nordique



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

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Définition du climat nordique
- L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada
- Contraintes d'exploitation
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Définition du climat nordique
- L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada
- Contraintes d'exploitation
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Certaines des éoliennes présentes au Canada et au Québec sont soumises à des conditions climatiques rigoureuses. Ces conditions sont généralement caractérisées de nordiques.
- Les contraintes techniques découlant de ces conditions rigoureuses ont été présentées tout au long des modules et sont résumées dans cette présentation.
- L'objectif est de se les remettre en tête avant d'étudier les différentes solutions mises en œuvre.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Définition du climat nordique***
- L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada
- Contraintes d'exploitation
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- Conclusion

Définition du climat nordique

❖ Le givre

- Il s'agit d'une accumulation de glace ou de neige sur une structure. Il se forme lorsque l'eau présente dans l'air gèle au contact d'une surface. Ce phénomène peut se produire dans les nuages (formation de givre blanc) ou lors de précipitations (verglas ou neige fondante).
- Givre météorologique :
 - Période durant laquelle les conditions atmosphériques sont favorables à l'accumulation de givre.
- Givre instrumental :
 - Durée total de présence de givre sur les structure.

Définition du climat nordique

❖ Le givre

- Classes de givre (Agence Internationale de l'Énergie (AIE)) :
 - Dépend des givres météorologique et instrumental mais également de la perte de production.

Classe de givre de l'AIE	Givre météorologique (% de l'année)	Givre instrumental (% de l'année)
1	0-0,5	0-1,5
2	0,5-3	1-9
3	3-5	6-15
4	5-10	10-30
5	>10	>20

Définition du climat nordique

❖ Le givre

- La répartition des sévérités de givre au Canada a été faite par l'AIE.
- Les zones en blanc sont des zones où les données ne sont pas suffisantes pour juger de la classe.
- Le Québec est donc soumis à des classes de givre sévères.

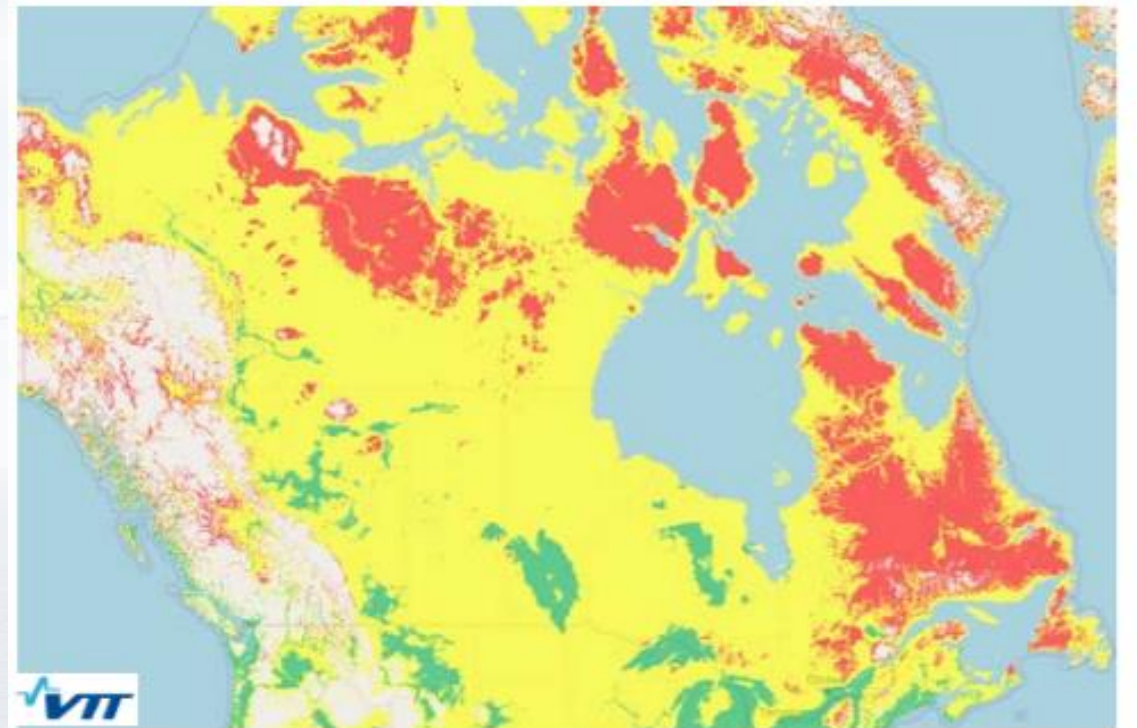


Figure 1 : Répartition des classes de givre de l'AIE au Canada [4]

Classe de givre de l'AIE	1	2	3	4	5
Couleur correspondante sur la figure 1	Green	Yellow	Red		

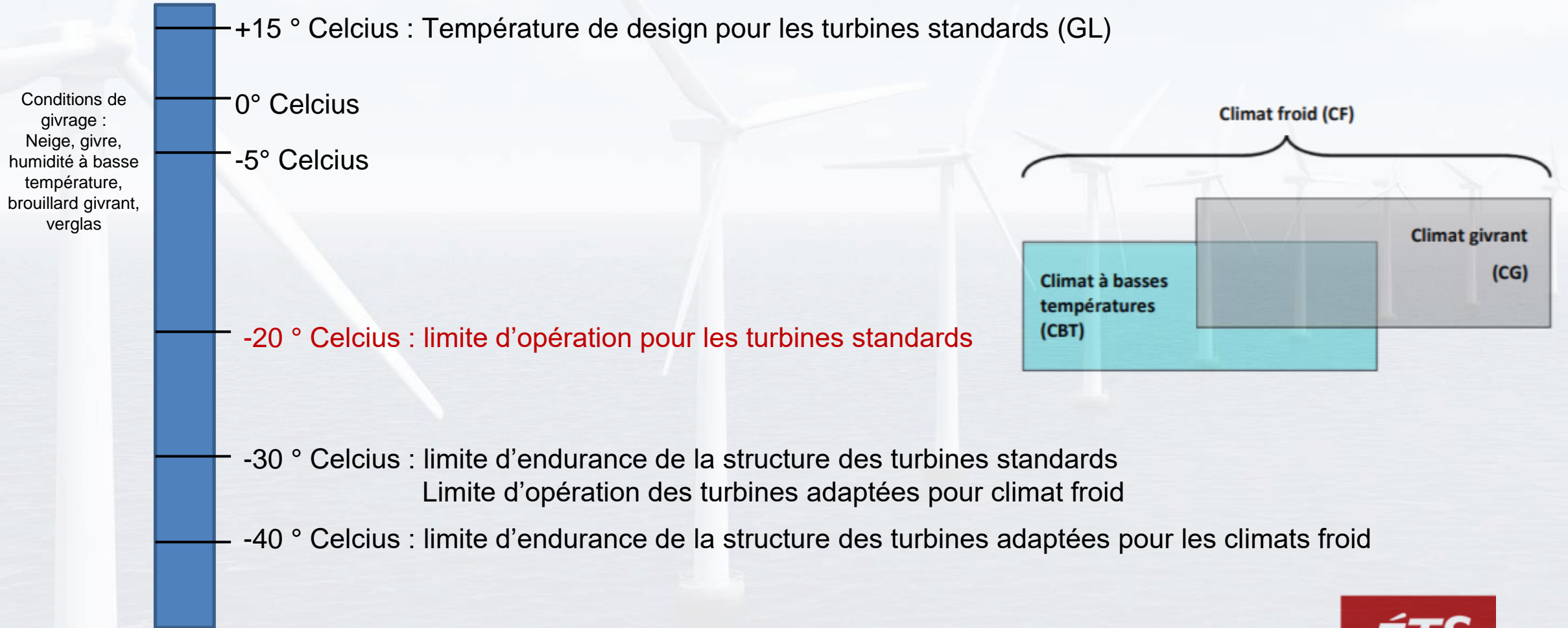
Définition du climat nordique

❖ Les basses températures

- Un site est jugé à basses températures lorsqu'une de ces deux conditions est remplie :
 - Température annuelle moyenne inférieure à 0°C
 - Neuf jours dans l'année où la température est inférieure à -20 °C pendant une heure.
- Pour les travailleurs, la définition suivante s'applique :
 - Température pour laquelle les employés peuvent être à risque, c'est-à-dire une température inférieure à 0°C.

Définition du climat nordique

❖ Climat nordique/froid



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Définition du climat nordique
- ***L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada***
- Contraintes d'exploitation
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- Conclusion

L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada

<i>Existing cold climate capacity in Canada.</i>	Canada Defining criteria: Low temperature / Atmospheric Icing
Cold Climate Capacity	1,823 MW / 2,239 MW
Adapted cold climate technology	1,500 MW / 220 MW
Cold Climate potential	45,000 MW / 55,000 MW

State-of -the-art of wind energy in cold climates
(T. Laakso & al., August 7th, 2009)

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Définition du climat nordique
- L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada
- ***Contraintes d'exploitation***
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- Conclusion

Question

- Quelles peuvent être les contraintes **directement** associées aux basses températures ?
 - A. L'augmentation des charges sur l'éolienne
 - B. L'augmentation du bruit
 - C. La détérioration du matériel
 - D. La diminution de la qualité des lubrifiants
 - E. L'effondrement des mâts de mesure

Contraintes d'exploitation : Basses températures

- Les propriétés mécaniques des matériaux se modifient à basses températures :
 - Acier, soudures : plus fragiles → résistance à la rupture réduite
 - Matériaux composites : subissent de contraintes → microfissures → rigidité et perméabilité diminuent → favorise la détérioration du matériel
 - Cuivre :
 - Résistance électrique diminue → pertes par effet joule diminue
 - Risque de dommage lié à la contraction-dilatation des connexions électriques.
 - Composantes en caoutchouc : perdent leur flexibilité à basses températures → sujet à la fissuration → dégradation des performances de la turbine

Contraintes d'exploitation : Basses températures

- Risques liés à l'expansion et contraction des matériels :
 - Boulons (vérification du couple est nécessaire)
 - Joints électriques (pouvant causer d'échauffement/feu)
- Impact des basses températures sur les lubrifiants :
 - Augmentent la viscosité des différents lubrifiants utilisés → diminution de leur qualité.
 - Endommagement de la boîte de vitesse, des coupleurs hydrauliques ou encore des amortisseurs.
- Les basses températures affectent également les équipements électriques tels que les générateurs, le système d'orientation de la nacelle, le moteurs et les transformateurs.

Contraintes d'exploitation : Densité de l'air

- La portance augmente → Augmentation du couple et de la vitesse de rotation.
- Les charges sur l'éolienne augmentent → Endommagement des composants mécaniques (boîte de vitesses) et électriques (surpuissance électrique produite).



Arrêt obligatoire des éoliennes sous la limite opérationnelle de température : (HQ : -28 C à -30 C pour l'opération)



Contraintes d'exploitation : Humidité/condensation

- Cause de la corrosion
- Étincelles électriques
- Détérioration rapide de la qualité des lubrifiants

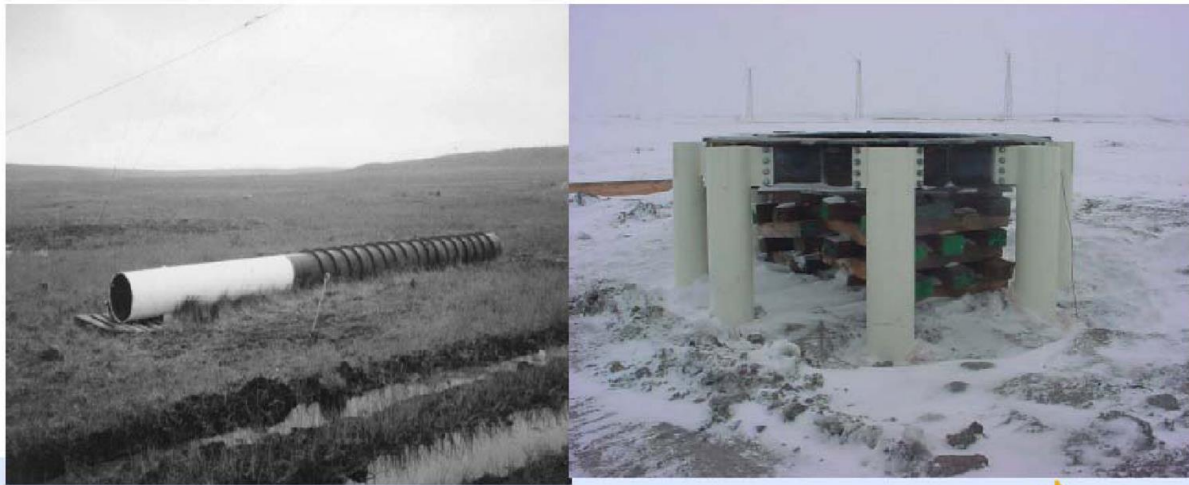
Contraintes d'exploitation : Tempêtes et avalanches

- Restriction de l'accès aux sites
 - Facteur à considérer pour l'installation des turbines (durée de l'hiver, conditions)
 - Cause de retard pour réparations et/ou redémarrages
- Infiltration de neige dans la nacelle
 - Obstruction des voies de ventilation
 - Maintenance plus difficile



Contraintes d'exploitation : Pergélisol

- Le manque de stabilité du pergélisol impose les contraintes suivantes sur les fondations :
 - Demande une conception particulière



Piliers pour fondation - Alaska

Contraintes d'exploitation : Pergélisol

- Fondation doit tenir compte des variations saisonnières :
 - Profondeur du pergélisol
 - Accès au site
- Devrait tenir compte du potentiel de changement climatique et de son effet sur le pergélisol



Source : Petrie, 2007



Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

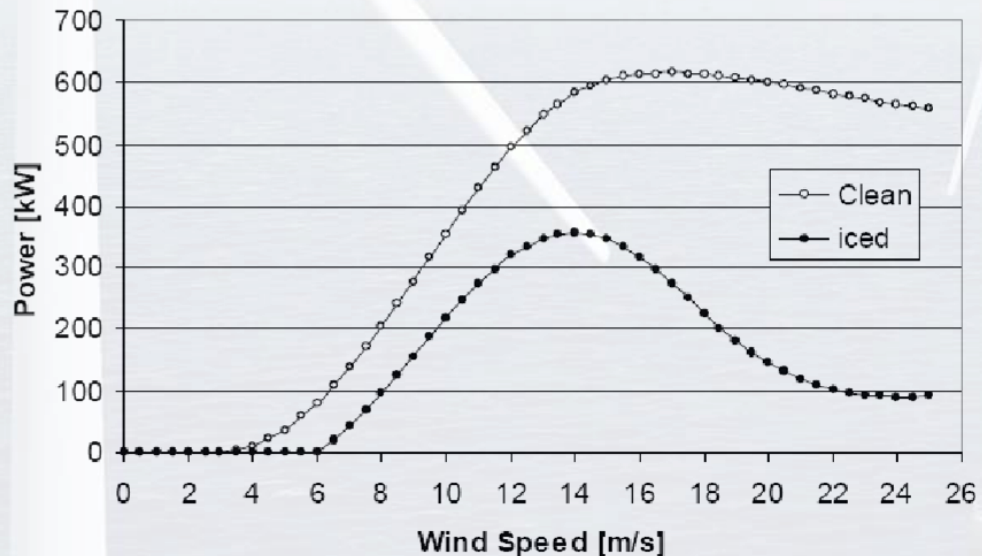
- Les impacts de givrage peuvent être observés sur :
 - La production énergétique des éoliennes
 - La structure des éoliennes
 - L'aspect sécuritaire
 - L'accès au site
 - Les lignes de transport d'électricité
 - L'impact sonore (bruit)
 - Instruments de mesures et qualité de données
 - Impact sur les génératrices

Question

- Comment évolue la courbe de puissance d'une éolienne avec la présence de givre uniformément réparti sur ces pales ?
 - A. Elle est identique
 - B. La puissance nominale est légèrement meilleure par rapport au cas classique
 - C. La puissance décroît rapidement pour des vitesses de vent dépassant celle requise pour la puissance nominale
 - D. Un plateau est observé une fois la puissance nominale atteinte
 - E. La puissance nominale est plus faible que dans le cas classique

Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Accumulation de givre répartie uniformément sur les pales
 - Augmentation de traînée → perte de portance
 - Diminution de la production énergétique (difficile à quantifier) → Difficulté des prévisions de la production augmente.
 - Arrêt de l'éolienne → Production nulle (dégivrage manuel ou naturel)



Source : EWEA,
Winterwind2 008



Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Accumulation du givre non-symétrique sur les pales : vibrations excessives :
 - Augmentation des charges statiques et dynamiques → fatigue de la structure → réduction de la durée de vie de la machine
 - Possibilité d'effondrement de l'éolienne.
 - Arrêt de l'éolienne.



Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Aspect sécuritaire
 - Projection de glace → Risque sur le public, le personnel de maintenance



Source :Maissan 2001



Source : 3CI 2008,



Source : Golbeck 2008

Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Lignes de transport d'électricité
 - Déglacage nécessaire
- Bruit
 - Augmentation potentiel du bruit (aérodynamique et mécanique)



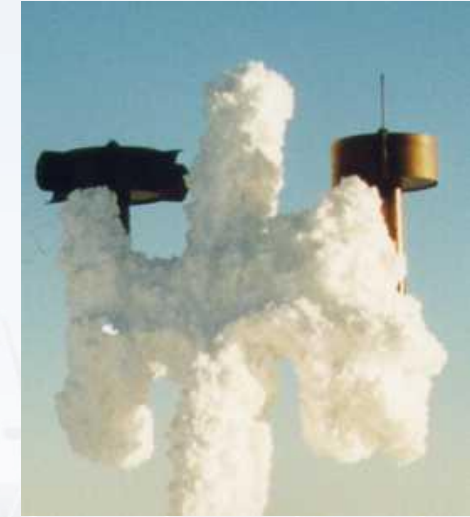
Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Mât de mesure
 - Augmentation de la charge sur le mât de mesure (effondrement de tours)



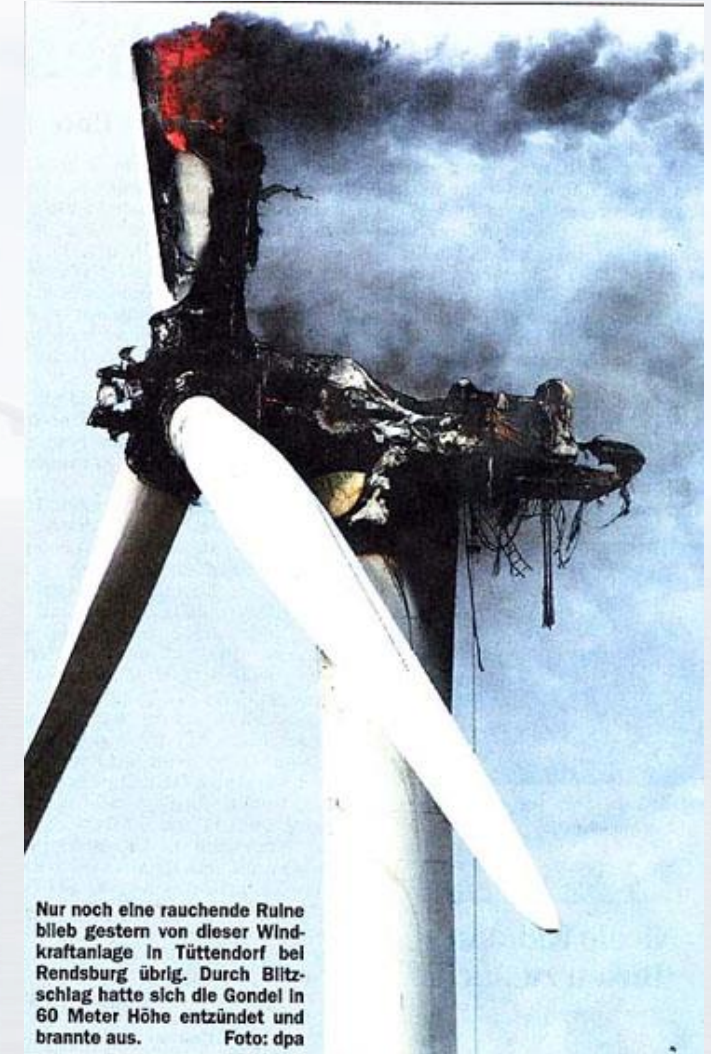
Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- 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 voir 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 des instruments de mesure



Contraintes d'exploitation : Givrage atmosphérique

- Impact sur les génératrices :
 - Les génératrices peuvent brûler lorsque le givre est accumulé uniformément sur les pales et que seulement la vitesse du vent est surveillée.



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Définition du climat nordique
- L'énergie éolienne en milieu nordique au Canada
- Contraintes d'exploitation
 - Basses températures
 - Densité de l'air
 - Humidité et condensation
 - Tempêtes et avalanches
 - Pergélisol
 - Givrage atmosphérique
- **Conclusion**

Conclusion

- Les contraintes en milieu nordique sont nombreuses et affectent une grandes parties des composants des éoliennes.
- Toutefois, l'expérience accumulée lors des dernières décennies permet de mettre en place des solutions plus ou moins matures pour tenter de limiter l'effet néfaste des contraintes sur la production d'électricité.
- Ces solutions font l'objet de la deuxième partie de ce module.

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