

4. Conception et essais d'éoliennes

4.2 Constituants des éoliennes



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

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux d'éoliennes
- Principaux composants des éoliennes
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- Conception particulière en condition nordique
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Matériaux d'éoliennes
- Principaux composants des éoliennes
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- Conception particulière en condition nordique
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Les composants constituant une éolienne permettent de transformer la puissance éolienne en puissance mécanique puis en puissance électrique.
- Cette présentation passe en revue ces composants afin de comprendre le fonctionnement d'une éolienne.
- Les composants mécaniques seront plus largement détaillés dans le Module 5 et ceux électriques dans le Module 6.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Matériaux d'éoliennes***
- Principaux composants des éoliennes
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- Conception particulière en condition nordique
- Conclusion

Question

- Quels sont les matériaux les plus utilisés pour la fabrication des pales ?

- A. Les aciers
- B. Les bétons
- C. Les matériaux composites
- D. Les plastiques
- E. Les bois

Matériaux d'éoliennes

❖ Revue des propriétés mécaniques de base des matériaux :

- Loi de Hooke
- Module d'élasticité
- Contrainte de fluage et de rupture
- Ductilité
- Dureté
- Propriétés en fatigue

Matériaux d'éoliennes

❖ Type de matériaux utilisés

- **Aciers**

- Un des matériaux les plus utilisés pour la fabrication d'éoliennes.
- Utilisés pour de nombreux composants (tour, moyeu, châssis principal, arbre moteur, engrenages, carters d'engrenages...).

- **Cuivre**

- Excellente conductivité électrique.
- Principalement utilisé pour les équipements électriques.

- **Béton**

- Fréquemment utilisé pour les fondations de l'éolienne.
- Utilisé auparavant pour la construction de tours.

Matériaux d'éoliennes

❖ Type de matériaux utilisés

- Matériaux composites

- Le matériau principal pour la fabrication des pales.
- Bien souvent, les matériaux composites sont constitués de fibres maintenues par une matrice.
- Le choix des fibres et du liant offre des applications nombreuses et variées.
- Pour l'application éolienne, les fibres les plus utilisées sont les fibres de verre, de carbone et les laminés en bois et les liants peuvent être le polyester, l'époxy ou le vinyle esters.
- Les composites sont utilisés pour la facilité à obtenir la forme souhaitée, leur haute résistance et leur haute rigidité par rapport au poids.
- Ils sont également résistants à la corrosion et isolants électriques.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux d'éoliennes
- ***Principaux composants des éoliennes***
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- Conception particulière en condition nordique
- Conclusion

Question

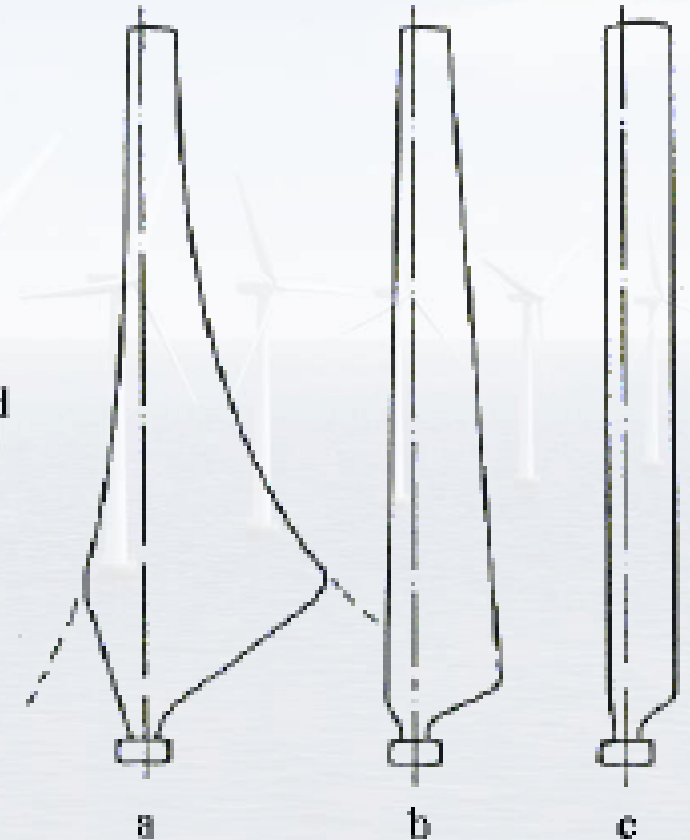
- Lesquels de ces composants constituent le train de puissance d'une éolienne ?
 - A. Les pales
 - B. Le moyeu
 - C. La génératrice
 - D. Le multiplicateur de vitesse
 - E. Le frein mécanique

Principaux composants des éoliennes

❖ Rotor – Pales

- La forme des pales
 - Elle dépend de la topologie globale de l'éolienne et des considérations aérodynamiques discutées dans le Module 3.
 - Les formes sont nombreuses et dépendent donc de l'application.

a- Near optimum
b- Linear taper
c- Constant chord



Principaux composants des éoliennes

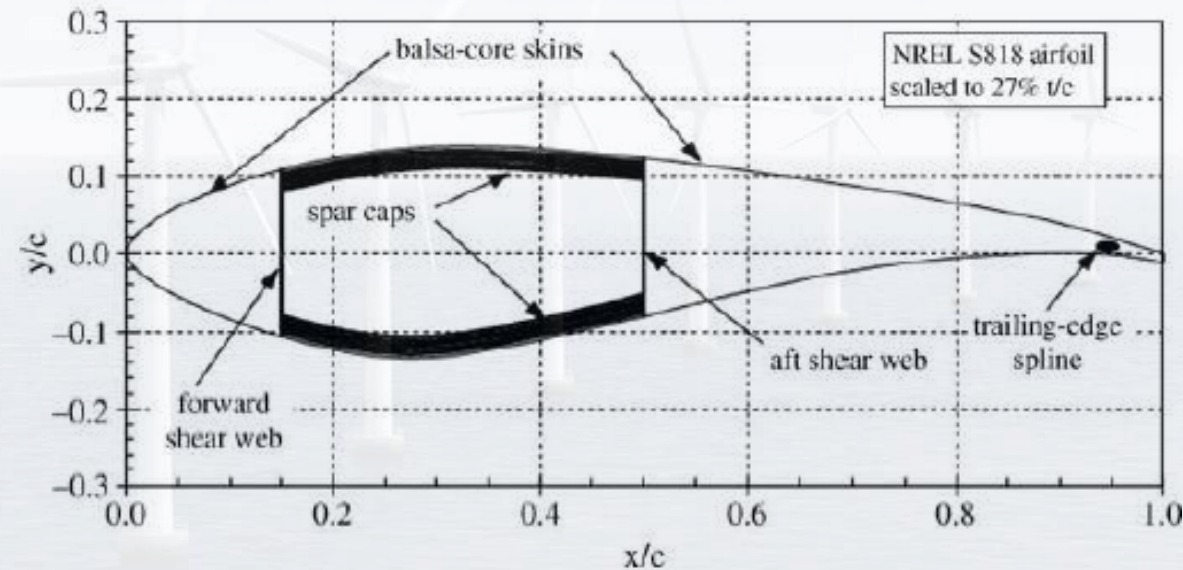
❖ Rotor – Pales

- Les performances aérodynamiques influencent la conception des pales :
 - Puissance nominale et vitesse nominale du vent
 - Vitesse spécifique de conception
 - Solidité
 - Profil aérodynamique
 - Contrôle de la puissance du rotor
 - Orientation du rotor

Principaux composants des éoliennes

❖ Rotor – Pales

- Résistance structurelle :
 - La forme extérieure des pales dépend des considérations aérodynamiques.
 - L'architecture intérieure est déterminée pour résister à des charges extrêmes tout en acceptant de nombreux cycles de fatigue.
 - Un longeron assure la résistance intérieure.



Principaux composants des éoliennes

❖ Rotor – Pales

- Fabrication :
 - Les pales sont très souvent fabriquées en matériaux composites.
 - Il existe de nombreuses méthodes de fabrication (infusion de résine, pultrusion, moulage par compression...).
- Liaison pales – moyen
 - C'est à cet endroit que les contraintes sont les plus fortes.
 - Le bout de pale est généralement épais pour limiter ces contraintes.

Principaux composants des éoliennes

❖ Rotor – Options de contrôle aérodynamique

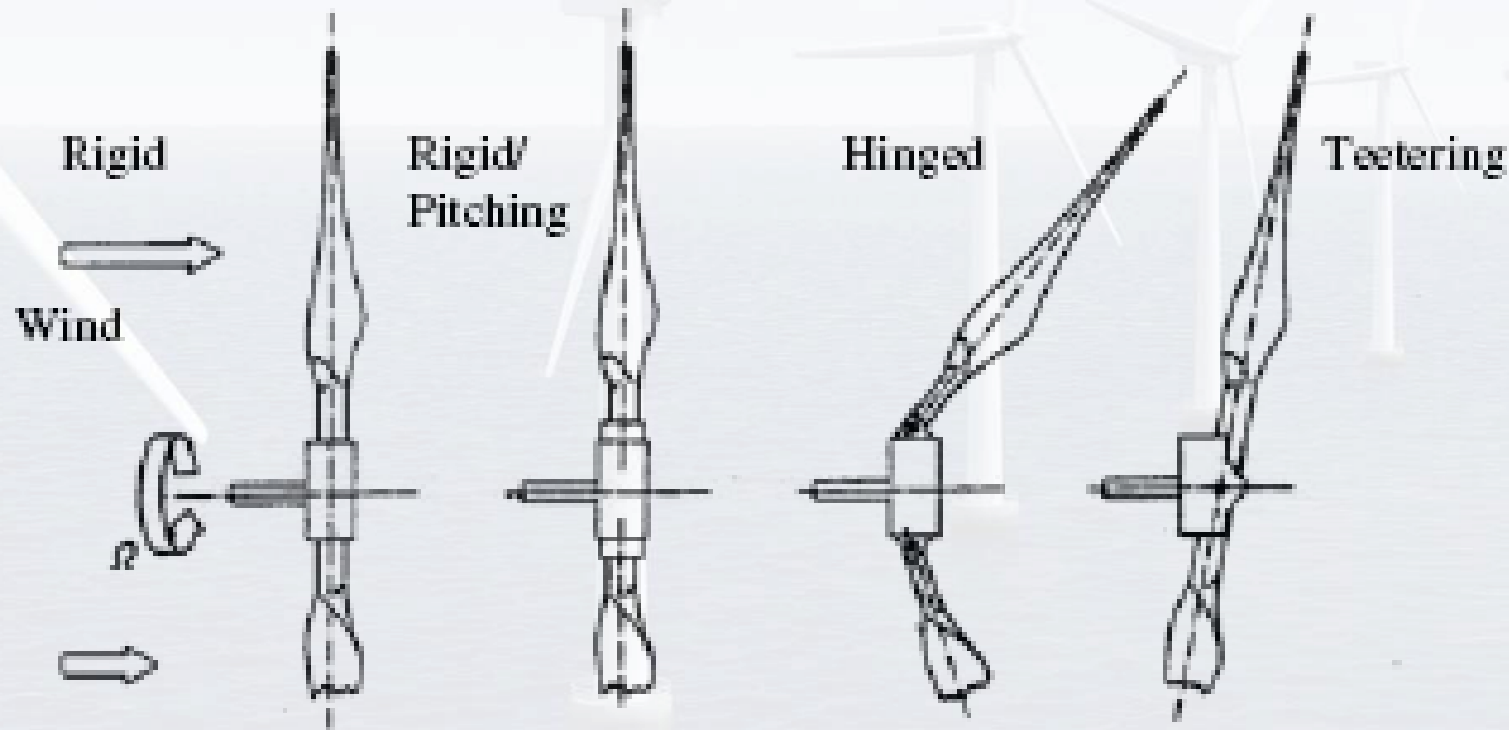
- Surfaces de contrôle
 - Dispositif pouvant être déplacé pour modifier l'aérodynamisme du rotor.
 - Les éoliennes à décrochage ont généralement des freins aérodynamiques (freins à pointes, volets...).
- Contrôle passif
 - Pour limiter la charge, le couplage « pitch-twist » permet de modifier l'angle de pas le long de la pale lorsque les forces de poussée créent un moment autour de l'axe de tangage, diminuant ainsi la force de portance.



Principaux composants des éoliennes

❖ Rotor – Moyeu

- C'est le composant qui relie les pales à l'arbre principal et au reste de la chaîne cinématique.



Principaux composants des éoliennes

❖ Train de puissance

- Arbre principal
 - De forme cylindrique
 - Sert à transmettre le couple du rotor au reste du train de puissance.
 - Guidé par des roulements.
- Roulements
 - Utilisés pour limiter la résistance de frottement entre deux pièces ayant un mouvement relatif.
- Couplages
 - Utilisé pour relier les arbres entre eux pour permettre la transmission.
 - Principalement utilisés entre l'arbre principal et la boîte de vitesses ou entre l'arbre de sortie de la boîte de vitesses et le générateur.

Principaux composants des éoliennes

❖ Train de puissance

- Boîte de vitesses

- De moins en moins utilisées. Les nouvelles éoliennes sont à attaque directe.
- Augmentation de la vitesse de l'arbre jusqu'au générateur.
- Constituées de pièces de transmission de couple (arbres, engrenages, roulements, joints...).
- À réducteurs et arbres parallèles ou à réducteurs planétaires.

- Engrenages

- Utilisés pour transférer le couple d'un arbre à un autre.
- Largement utilisés dans les applications éoliennes et notamment dans les boîtes de vitesses.

Principaux composants des éoliennes

❖ Train de puissance

- Génératrice

- Convertit la puissance mécanique du rotor en puissance électrique.
- Les générateurs tournaient à vitesse constante mais les nouvelles éoliennes sont à vitesse variable.
- Détaillé dans le Module 6 : Aspects électriques des éoliennes

- Freins

- Le frein mécanique est présent dans la majorité des éoliennes. Il est normalement accompagné d'un frein aérodynamique.
- Dans la plupart des cas, le frein mécanique est capable d'arrêter la turbine.
- Les freins mécaniques utilisés sont à disque ou à embrayage.

Principaux composants des éoliennes

❖ Train de puissance

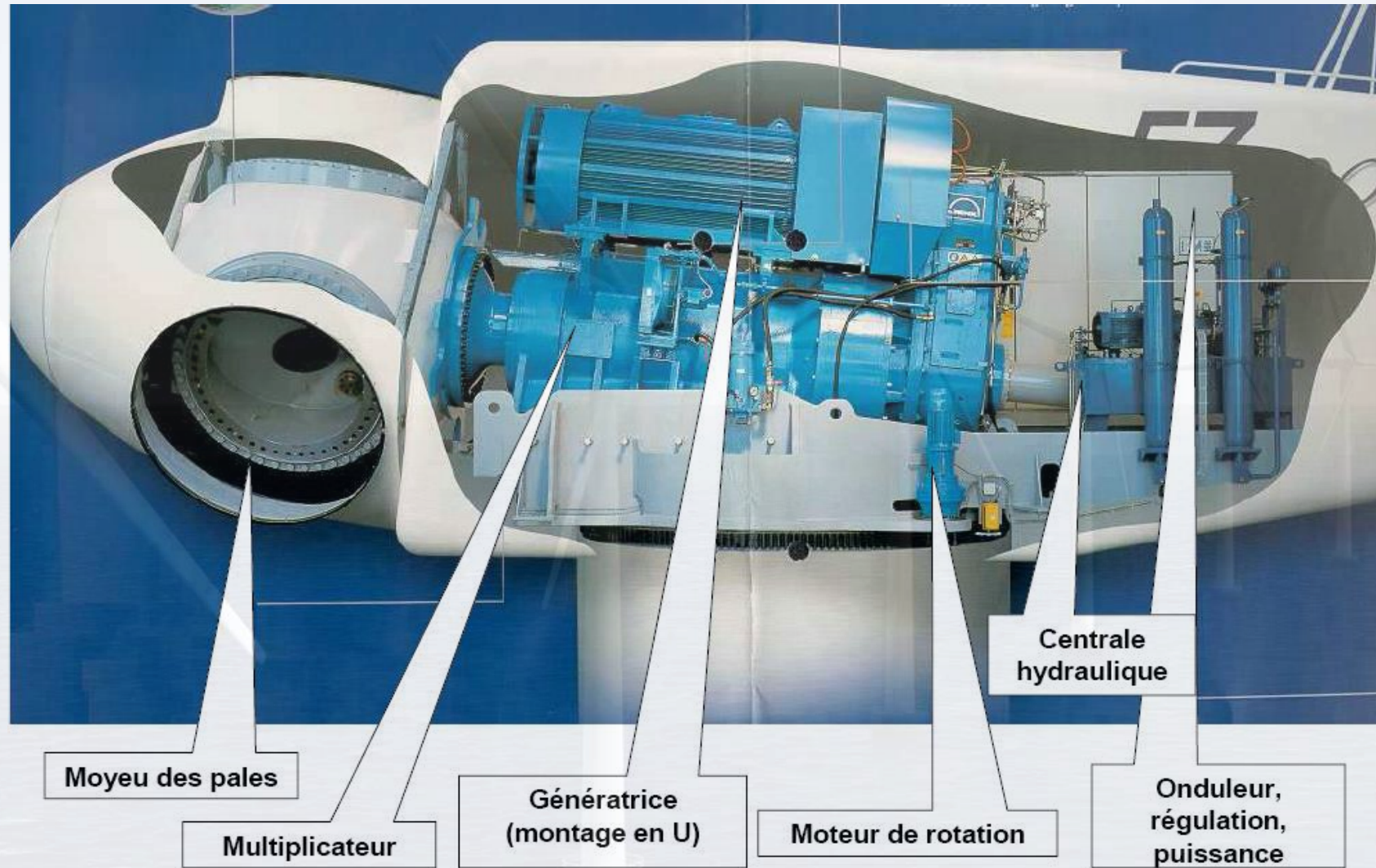
- Amortisseurs

- Les éoliennes sont soumises à des événements dynamiques qui peuvent avoir des effets négatifs.
- Les amortisseurs permettent de diminuer ces effets.

- Câbles, attaches et joints

- Éléments importants dans la conception d'éolienne.
- Permettent de maintenir les pièces entre elles (vis, boulons...).

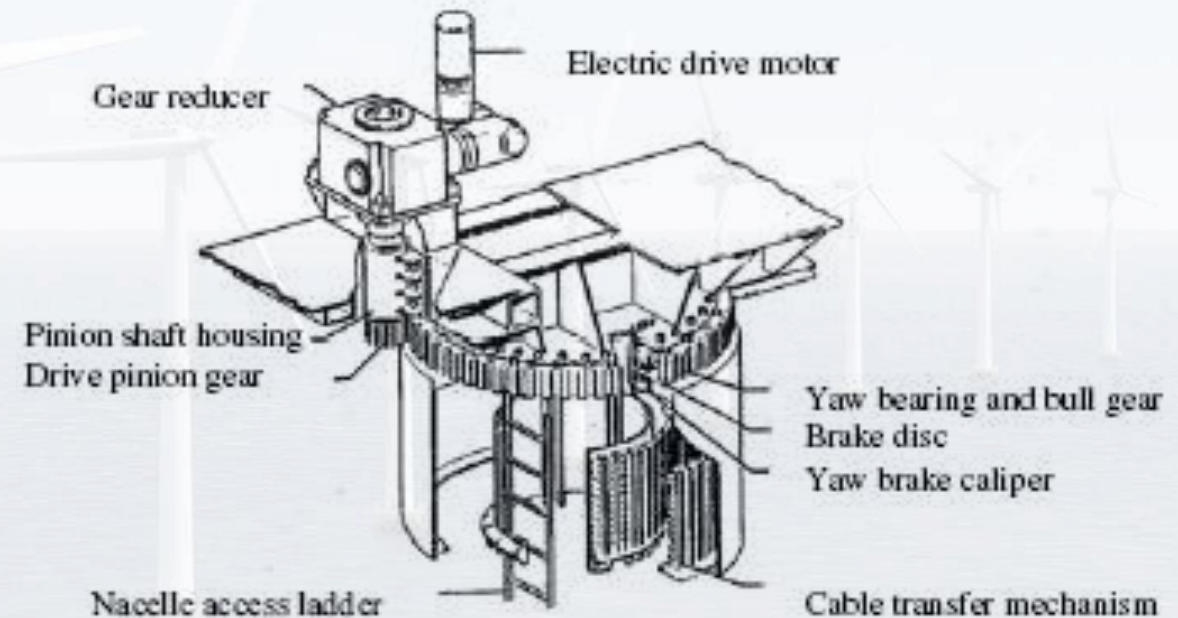
Principaux composants des éoliennes



Principaux composants des éoliennes

❖ Système d'orientation

- La majorité des éoliennes sont équipées de systèmes d'orientation afin de s'orienter dans la direction du vent.
- Également utilisé pour la régulation de puissance.
- Ils peuvent être actifs (utilisation d'un moteur pour aligner la turbine au vent) ou libre (dans les machines sous le vent utilisant l'aérodynamisme du rotor pour aligner la turbine).



Principaux composants des éoliennes

❖ Châssis et nacelle

- La nacelle regroupe les principaux composants de l'éolienne (hormis le rotor). Elle comprend le châssis et la coquille de la nacelle.
- Le châssis est l'élément principal structurant et alignant la boîte de vitesses, la génératrice...
- Il sert également de point de fixation pour le système d'orientation.
- La coquille de la nacelle offre une protection aux composants mécaniques et électriques contre les intempéries.

Principaux composants des éoliennes

❖ Tour

- Permet d'élever la partie principale de l'éolienne afin de profiter des régimes de vents plus intéressants.
- La hauteur de la tour est en générale supérieure au diamètre du rotor.
- Sa fondation doit être suffisante pour maintenir l'éolienne droite et stable sous les conditions les plus extrêmes.
- La fondation est en béton. Elles peuvent parfois être installées sur la roche.



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux d'éoliennes
- Principaux composants des éoliennes
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- ***Conception particulière en condition nordique***
- Conclusion

Conception particulière en condition nordique

- Dès l'étape de conception, les conditions d'opérations des éoliennes doivent être prises en compte.
- Pour le cas du Québec et des milieux nordiques plus généralement, les contraintes liées au climat rigoureux influent la conception :
 - ❖ Les basses températures :
 - Augmentent la viscosité des différents lubrifiants utilisés → diminution de leur qualité.
 - Endommagement de la boîte de vitesse, des coupleurs hydrauliques ou encore des amortisseurs.

Conception particulière en condition nordique

❖ L'humidité ou la condensation :

- Responsables de la détérioration rapide de la qualité des lubrifiants.
- Causes de phénomènes de corrosion. Les matériaux doivent donc être protégés lors de la phase de conception.

❖ Les tempêtes :

- Responsables d'infiltration de neige dans la nacelle.
 - Obstruction des voies de ventilation.
 - Maintenance plus difficile.

Conception particulière en condition nordique

- ❖ Le manque de stabilité du pergélisol (sous-sol gelé en permanence) implique des contraintes de conception sur les fondations :
 - La conception est propre à cet environnement.
 - Les fondations doivent tenir compte des variations saisonnières.
 - Profondeur du pergélisol
 - Accès au site
 - Elle devrait tenir compte du potentiel changement climatique et de ses effets sur le sol.



Piliers pour fondation - Alaska



Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux d'éoliennes
- Principaux composants des éoliennes
 - Rotor
 - Train de puissance
 - Système d'orientation
 - Châssis et nacelle
 - Tour
- Conception particulière en condition nordique
- **Conclusion**

Conclusion

- Le choix des matériaux est orienté par l'application et les contraintes que subit l'éolienne.
- Un mauvais choix de matériaux peut être fatal pour la suite du projet.
- Les composants d'une éolienne peuvent varier selon les technologies employées (à multiplicateur ou à attaque directe...).
- Ceux d'une éolienne à multiplicateur de vitesses sont présentés dans cette vidéo (jusqu'à 2'40'') : [Description du fonctionnement d'une éolienne - YouTube](#)

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