

4. Conception et essais d'éoliennes

4.1 Conception d'éoliennes



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

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Procédure de conception
- Topologie d'éolienne
- Charge des turbines éoliennes
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Procédure de conception
- Topologie d'éolienne
- Charge des turbines éoliennes
- Conclusion

Introduction et objectifs

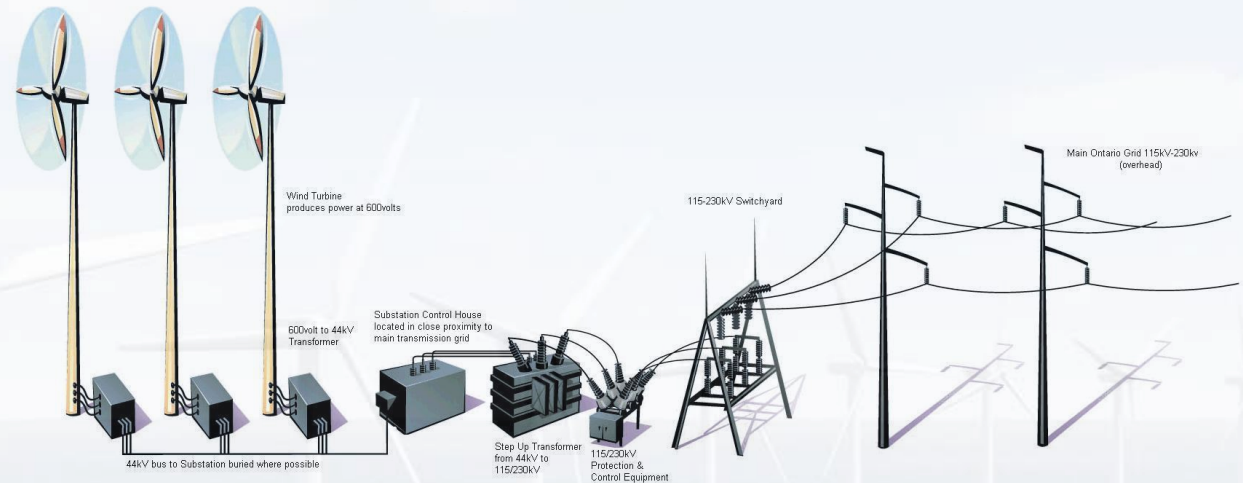
- L'étape de conception d'un projet éolien est soumise à divers critères d'optimisation.
- Ces critères concernent le coût et le poids des composants, la durée de vie du système ou encore les coûts d'entretien.
- En fonction des applications, les topologies d'éoliennes sont différentes tout comme leur conception.
- La technologie éolienne est maintenant présente depuis plusieurs années, ce qui permet de disposer de méthodes et de normes encadrants la conception des projets.

Introduction et objectifs

- Introduction et objectifs
- ***Procédure de conception***
- Topologie d'éolienne
- Charge des turbines éoliennes
- Conclusion

Procédure de conception

1. Déterminer l'application (raccordée au réseau, hors-réseau, couplage...)



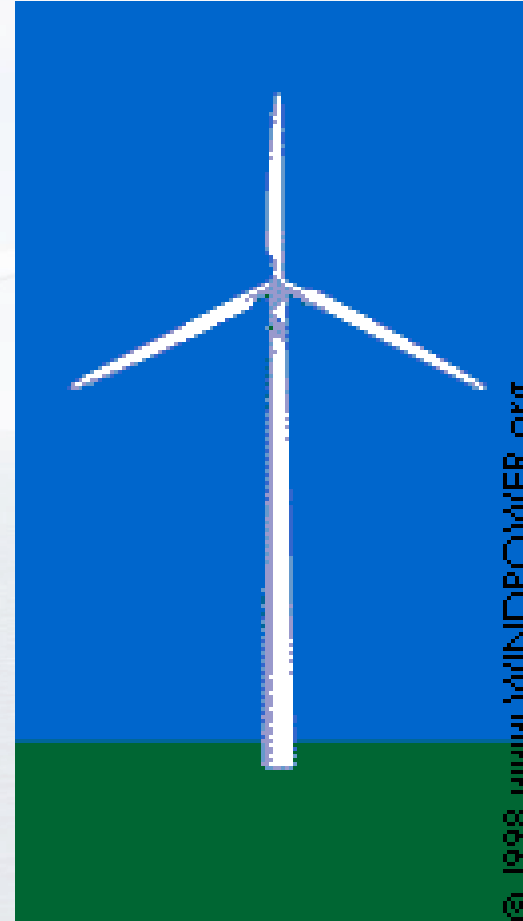
2. Révision de l'expérience précédente

- Éoliennes construites pour des applications similaires
- De nombreux projets ont déjà vu le jour et les éoliennes ont été testées ...
- Important de prendre en compte les erreurs du passé → aide pour les projets futurs.

Procédure de conception

3. Sélectionner la topologie

- Axe horizontal ou axe vertical
- Régulation de puissance
- Position du rotor
- Contrôle de l'orientation
- Vitesse du rotor
- Solidité et vitesse de rotation
- Type de moyeu
- Nombre de pales



4. Estimation préliminaire des charges

Procédure de conception

5. Développement d'un concept préliminaire des sous-systèmes :

- Le rotor
- Le train de puissance
- La nacelle et le châssis
- Le système d'orientation de la nacelle
- La tour, type de fondation et érection
- Facteurs à considérer dans la conception préliminaire :
 - Méthodes de fabrication
 - Les conditions d'entretien
 - Aspects esthétiques
 - Le bruit
 - Autres conditions environnementales

Procédure de conception

6. Prévoir la performance (courbe de puissance).
7. Évaluation de la conception préliminaire sur les aspects suivants :
 - Charges statiques
 - Charges stationnaires (rotation)
 - Charges cycliques
 - Charges impulsives (passage devant la tour)
 - Charges stochastiques (turbulence)
 - Charges transitoires (démarrage – arrêt)
 - Charges dues à la résonance

Procédure de conception

8. Estimation des coûts de production et de production d'énergie
9. Raffinement de la conception
10. Construction d'un prototype
11. Tester le prototype
12. Conception finale de la machine de production

Plan de cette présentation

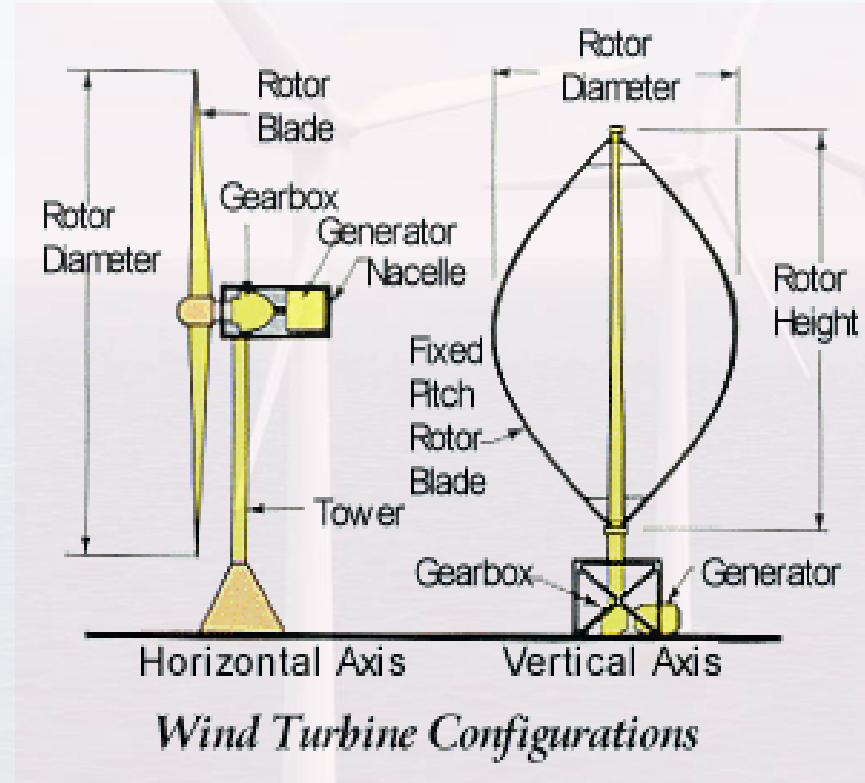
- Introduction et objectifs
- Procédure de conception
- ***Topologie d'éolienne***
- Charge des turbines éoliennes
- Conclusion

Question

- À quoi servent les mécanismes de régulation ?
 - A. Réguler la consommation électrique
 - B. Empêcher l'éolienne de produire lorsque la vitesse du vent devient trop importante
 - C. Régler le chaîne cinématique sans avoir à intervenir
 - D. Offrir un suivi en temps réel de la production
 - E. Limiter la puissance produite par le rotor dans certaines situations

Topologie d'éolienne

- ❖ À axe horizontal ou à axe vertical



Topologie d'éolienne

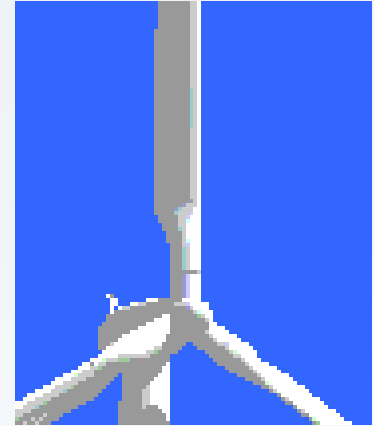
❖ Régulation aérodynamique des turbines

- Conception des éoliennes de manière à atteindre leur puissance nominale (maximale) à des vitesses de vent de l'ordre de 15m/s.
- Au-delà de cette vitesse « nominale » de fonctionnement, des mécanismes aérodynamiques doivent limiter la puissance produite par le rotor.

Topologie d'éolienne

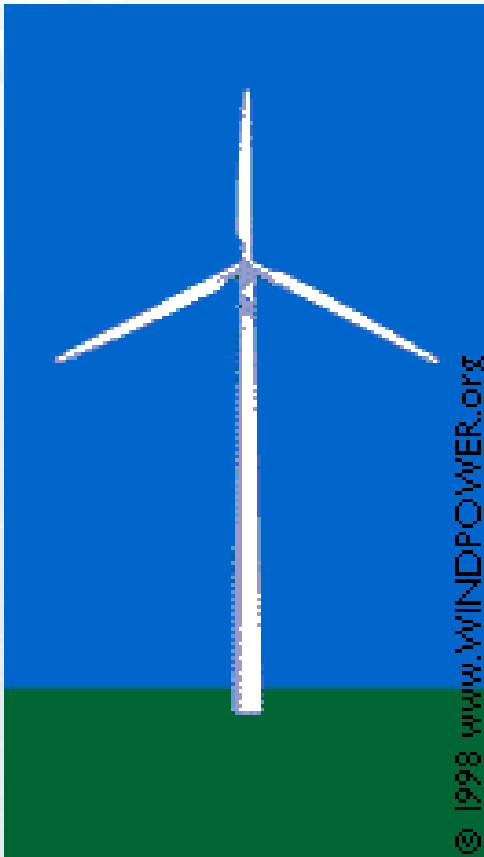
❖ Mécanismes de régulation

- Contrôle à calage variable de la pale (pitch regulation)
- Régulation par décrochage aérodynamique (stall regulation)
- Régulation active par décrochage aérodynamique (active stall control)



Topologie d'éolienne

❖ Orientation des éoliennes



Topologie d'éolienne

❖ Vitesse de rotation constante ou variable

- Historiquement, les éoliennes sont à vitesse de rotation constante déterminée par la génératrice électrique et le multiplicateur.
- Les éoliennes à vitesse de rotation variable peuvent fonctionner à la vitesse spécifique optimale pour maximiser la conversion de puissance pour des vents faibles et pour réduire les charges pour des vents forts.

❖ Choix de la vitesse spécifique et solidité du rotor

- Déterminer la vitesse spécifique optimale pour optimiser le coefficient de puissance.
- Le choix de cette vitesse spécifique a un lien direct avec la suite de la conception (solidité du rotor).

Topologie d'éolienne

❖ Conception du moyeu (rigide, basculant ou articulé)

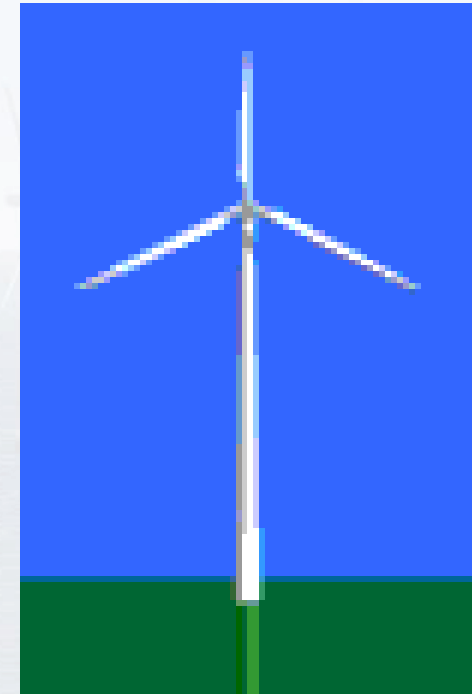
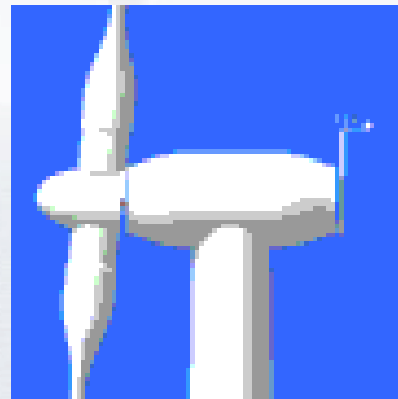
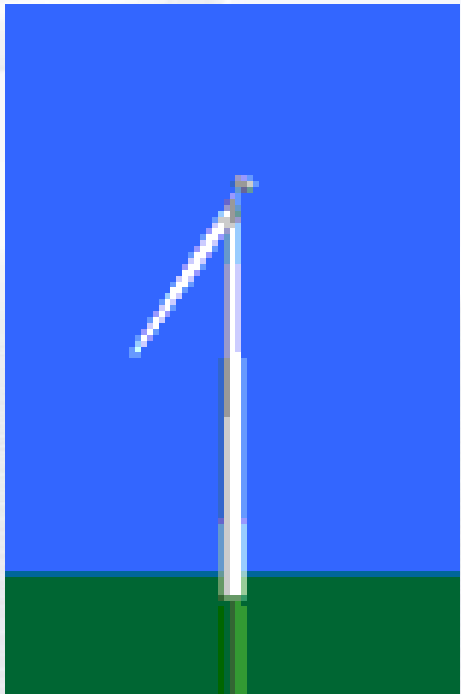
- La grande majorité des éoliennes ont des moyeux rigides. Les pales ne peuvent pas bouger dans le sens du battement et de la corde. Cette catégorie de moyeu inclue les éoliennes à pales à pas variable.

❖ Rigidité (flexible ou rigide)

- Les turbines avec des vitesses spécifiques moins élevées et une solidité plus importante sont plus rigides.
- Les turbines plus légères et plus rapides sont plus flexibles.
- La flexibilité a l'avantage de diminuer les contraintes mais les mouvements de pales sont plus imprévisibles.

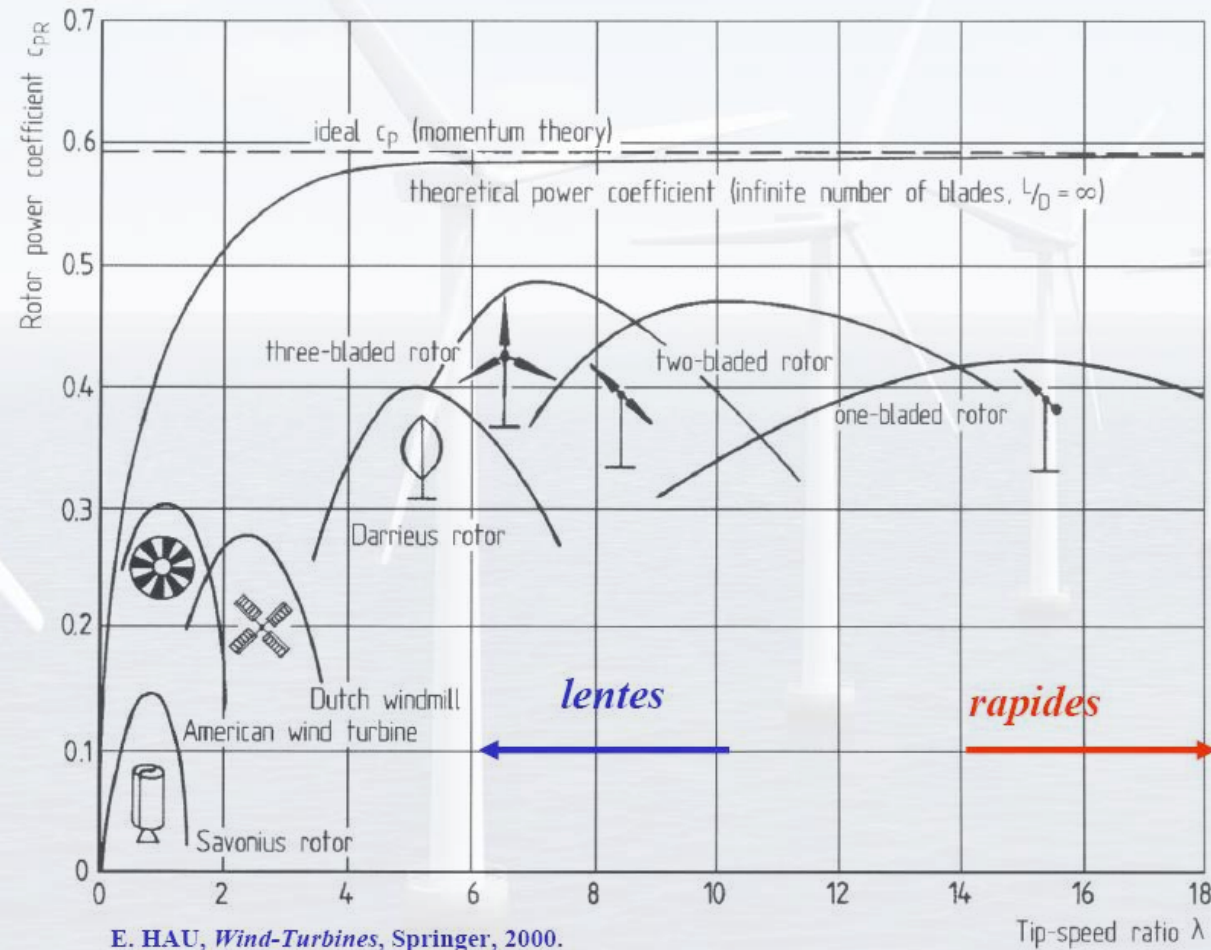
Topologie d'éolienne

❖ Nombre de pales



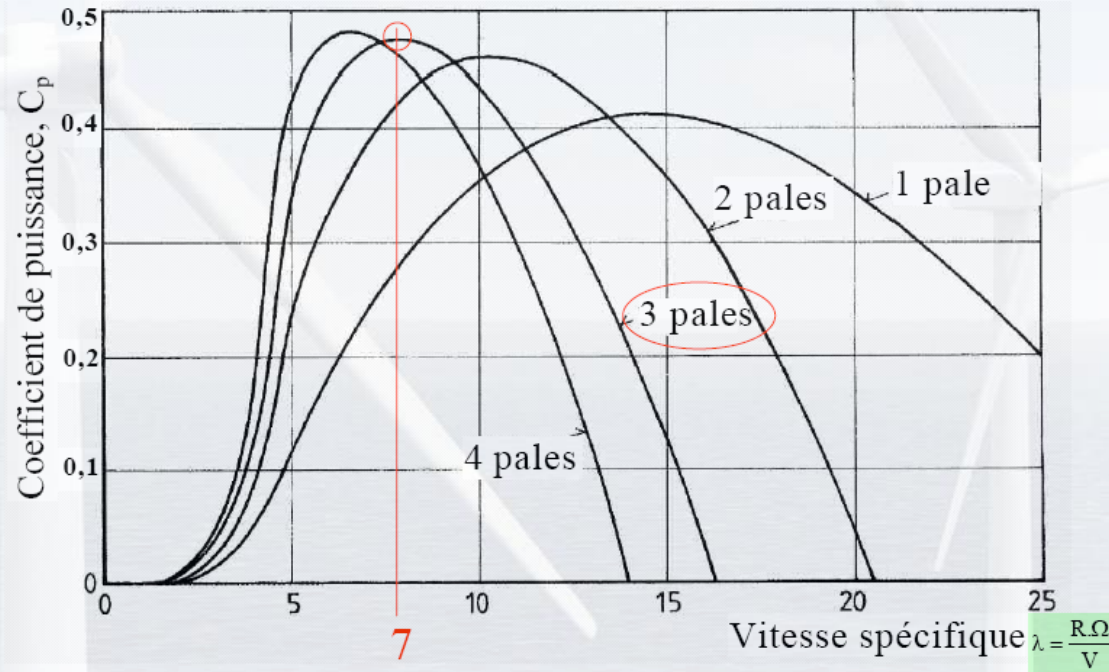
Topologie d'éolienne

❖ Nombre de pales



Topologie d'éolienne

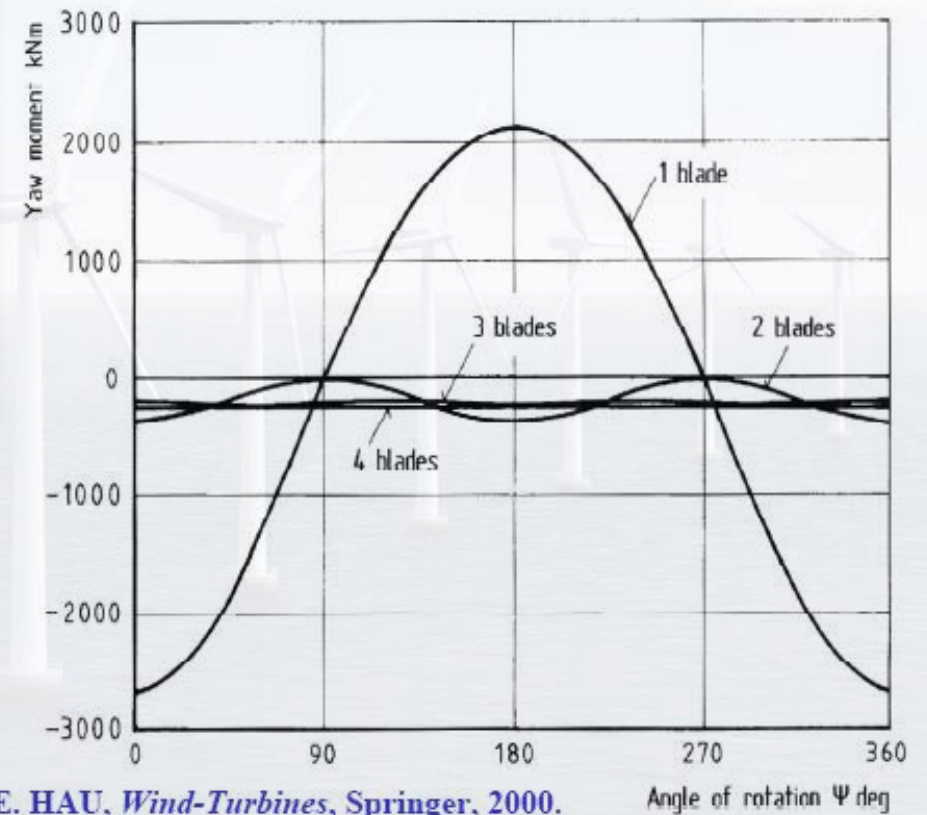
❖ Nombre de pales



Pour de faibles vitesses spécifiques ($\lambda < 10$),
 C_p augmente si le nombre
de pales augmente

Le couple de déviation diminue si
le nombre de pales augmente

Couple de déviation



E. HAU, *Wind-Turbines*, Springer, 2000.

Angle of rotation Ψ deg

Topologie d'éolienne

- ❖ Les tours – tours tubulaires en acier



Topologie d'éolienne

- ❖ Les tours – tours tubulaires en béton/acier



Topologie d'éolienne

❖ Les tours

Tours en treillis



Tours haubanés



Solutions hybrides



Question

- Quelles peuvent être les contraintes rencontrées lors de la phase de conception ?
 - A. Les conditions climatiques
 - B. Les pics de consommation
 - C. Les facteurs environnementaux
 - D. Les conditions spécifiques du site
 - E. La nature d'application du projet

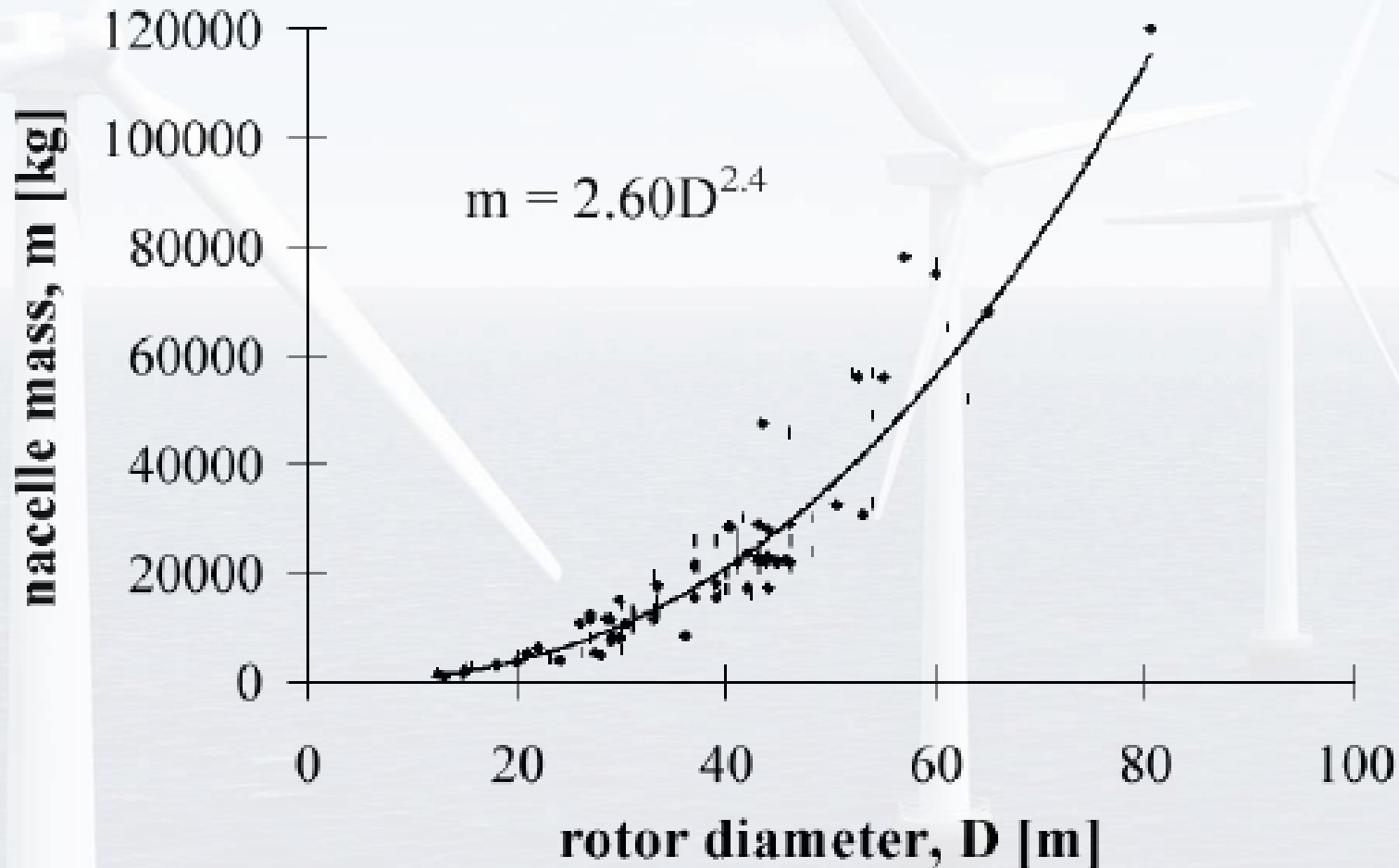
Topologie d'éolienne

❖ Contraintes de conception

- Conditions climatiques qui affectent la conception.
- Conditions spécifiques du site (sites difficilement accessibles, sites isolés).
- Mode du transport utilisé (aérien, ferroviaire, terrestre, maritime).
- Nature d'application du projet : hors réseau, réseau isolé, réseau central, offshore ...
- Facteurs environnementaux affectant la conception.

Topologie d'éolienne

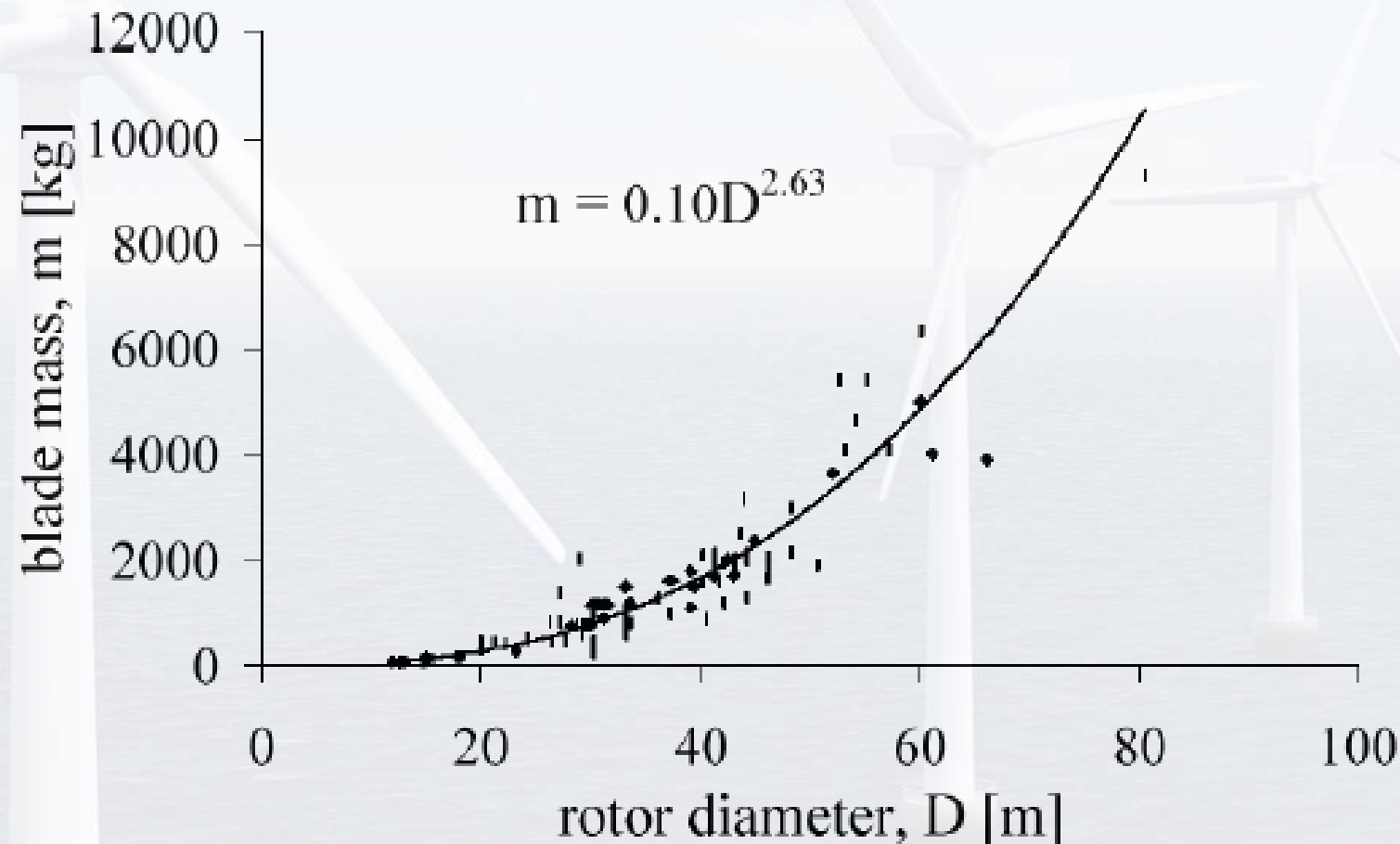
❖ Contraintes de conception



Relation Diamètre du rotor – Masse de la nacelle

Topologie d'éolienne

❖ Contraintes de conception



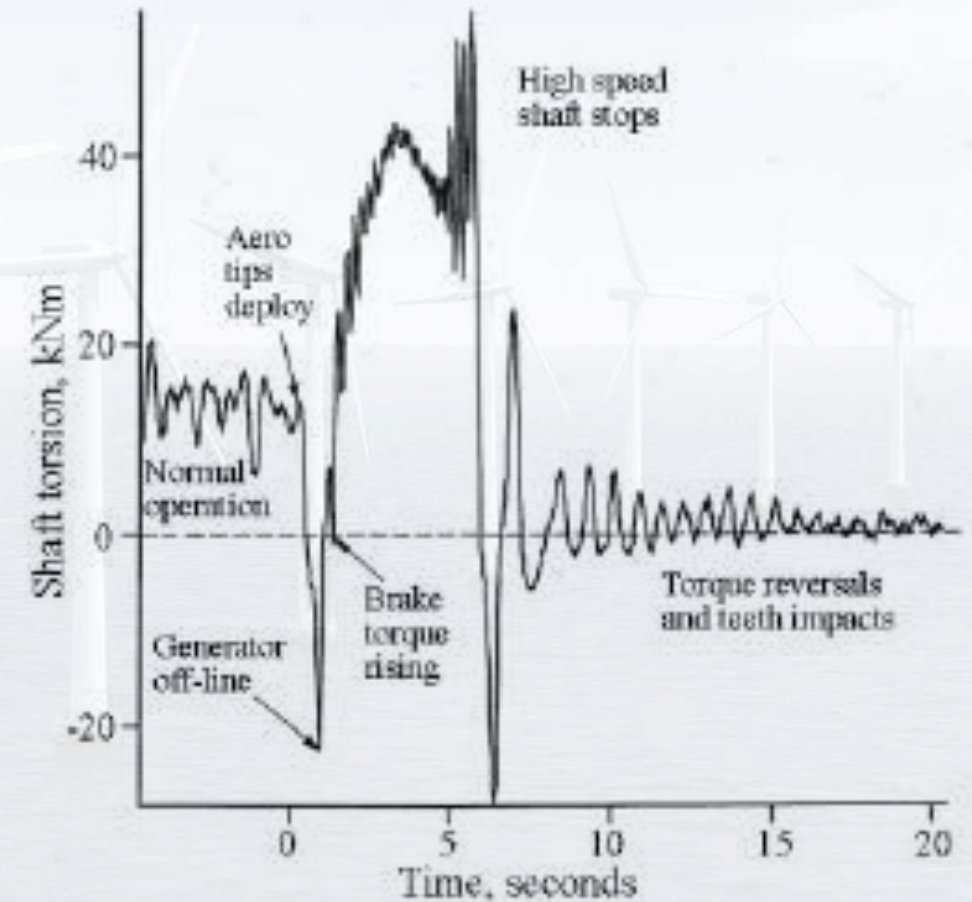
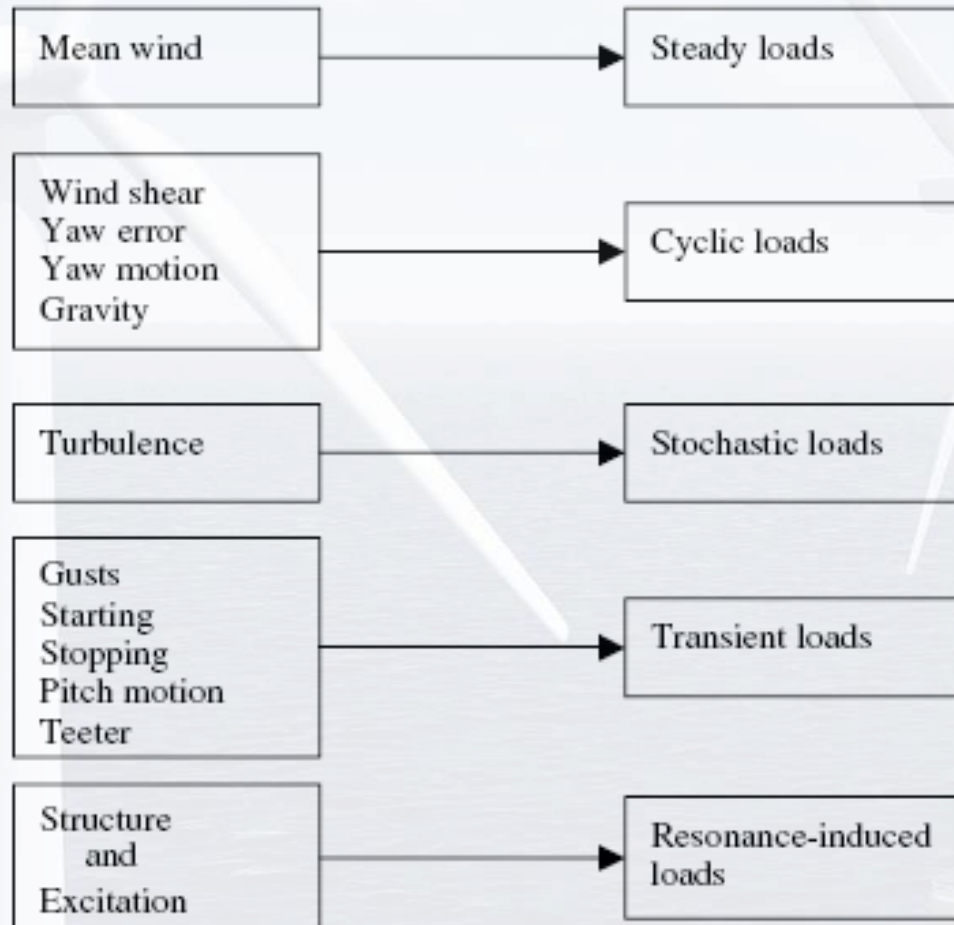
Relation Diamètre du rotor – Masse de la pale

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Procédure de conception
- Topologie d'éolienne
- ***Charge des turbines éoliennes***
- Conclusion

Charge des turbines éoliennes

❖ Charges utilisées pour la conception :



Charge des turbines éoliennes

❖ Charges utilisées pour la conception :

- Déterminer les vitesses de vent d'opération
- Spécifier les charges d'intérêt incluant celles courantes et extrêmes
- Calculer les charges pour chaque cas
- Vérifier que les contraintes pour chaque cas sont acceptables

- Classes de IEC

Classes	I	II	III	IV
Reference wind speed, U_{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	30
Annual average wind speed U_{ave} (m/s)	10	8.5	7.5	6

Charge des turbines éoliennes

❖ Vitesses de vent de conception selon les normes IEC :

- Conditions normales de vent
 - Distribution de Rayleigh
 - Profil vertical normal de vent (exposant 0.2)
 - Modèle normal de turbulence
- Conditions extrêmes de vent
 - Vitesses extrêmes de vent
 - Rafales extrêmes (6.4 fois la déviation standard)
 - Changement extrême de direction
 - Rafales cohérentes extrêmes
 - Rafales cohérentes extrêmes avec changement de direction
 - Cisaillement extrême de vent

Charge des turbines éoliennes

❖ Application des charges de conception

- La contrainte maximale
- La charge ultime en fatigue
- Analyse de stabilité
- Déflexion

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Procédure de conception
- Topologie d'éolienne
- Charge des turbines éoliennes
- ***Conclusion***

Conclusion

- La conception d'un projet éolien est encadrée par les normes IEC.
- Les différences de topologie éoliennes rendent les projets différents les uns des autres.
- Les charges s'appliquant sur les éoliennes sont des paramètres dimensionnant la conception de l'éolienne. Leur étude est donc primordiale.
- Une fois cette conception finalisée, il est nécessaire de réaliser tous les essais (Module 4.3) afin de la valider.

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