

## 4. Conception et essais d'éoliennes

### 4.3 Essai et évaluation de la conception



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

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Codes informatiques pour la conception d'éolienne
- Évaluation de la conception
- Essai des composants
- Conclusion

# Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Codes informatiques pour la conception d'éolienne
- Évaluation de la conception
- Essai des composants
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- Une fois la conception faite, cette dernière doit être testée dans le but de la valider.
- Pour ce faire, des codes informatiques testent la conception en simulant les contraintes que subit l'éolienne, et ce, pour différentes situations (classique, extrême...).
- Des tests sont également nécessaires pour respecter les normes.

# Plan de cette présentation

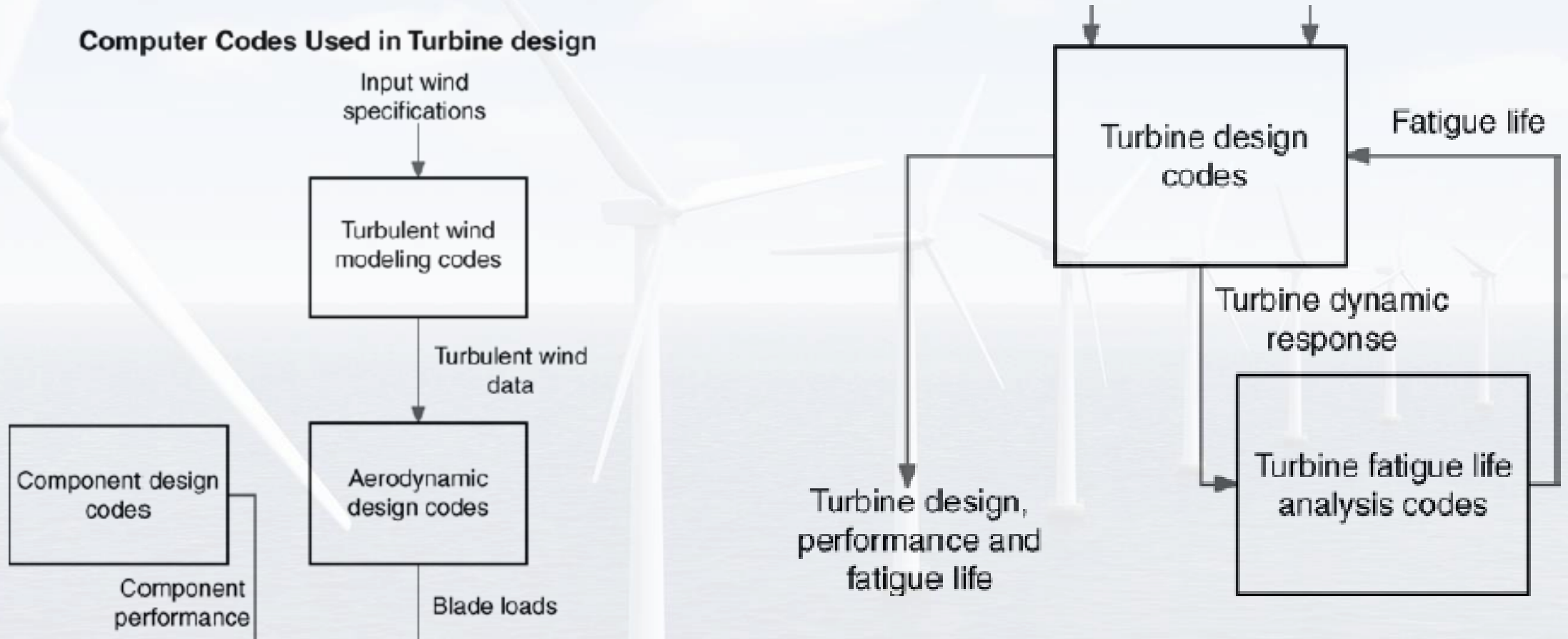
- Introduction et objectifs
- ***Codes informatiques pour la conception d'éolienne***
- Évaluation de la conception
- Essai des composants
- Conclusion

# Codes informatiques pour la conception d'éolienne

- Éléments clés dans le processus de conception global. Ils sont utilisés pour évaluer la conception des sous-composants et de l'éolienne complète.
- Il existe une base de données importante de tests pour évaluer la conception mais aucun programme ne peut simuler l'ensemble des conditions de fonctionnement que rencontrera une éolienne tout au long de sa durée de vie.
- Permet de simuler des conditions extrêmes pour étudier le comportement de l'éolienne.
- Les résultats doivent être comparés aux tests pour valider les modèles.

# Codes informatiques pour la conception d'éolienne

## Computer Codes Used in Turbine design



# Codes informatiques pour la conception d'éolienne

Code	Source	Purpose
TurbSim	NREL	Wind simulator; preprocessor
IECWind	NREL	Wind simulator; preprocessor
AirfoilPrep	Windward Engineering/NREL	Generates airfoil data; aerodynamics preprocessor
WT_Perf	OSU and NREL	Rotor performance code
PROPID	Univ. of Illinois	Rotor design code
PreComp	NREL	Computes coupled section properties of composite blades; structural response preprocessor
BModes	NREL	Computes mode shapes and frequencies of blades and towers; structural response preprocessor
AeroDyn	Windward Engineering/NREL	Generates aerodynamic forces; input to structural models
YawDyn	Windward Engineering/NREL	Simplified structural dynamics model
FAST	OSU and NREL	Moderately detailed structural dynamics model
ADAMS2AD	NREL	Detailed structural dynamics model
NuMAD	Sandia	Preprocessor for finite element model, ANSYS
GH Bladed	Garrad Hassan	Detailed structural dynamics model

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Codes informatiques pour la conception d'éolienne
- ***Évaluation de la conception***
- Essai des composants
- Conclusion

# Question

- Quelle sont dans l'ordre les étapes d'évaluation de la conception ?
  - A. Déterminer les charges – Convertir les charges en contrainte – Modéliser la turbine – Évaluer les dommages
  - B. Modéliser la turbine – Évaluer les dommages – Déterminer les charges – Convertir les charges en contrainte
  - C. Modéliser la turbine – Déterminer les charges – Convertir les charges en contrainte – Évaluer les dommages
  - D. Évaluer les dommages – Modéliser la turbine – Déterminer les charges – Convertir les charges en contrainte

# Évaluation de la conception

- Une fois la conception détaillée réalisée, il est nécessaire de l'évaluer à l'aide d'outils informatiques d'analyse.
- Pour effectuer une évaluation détaillée de la conception, il faut suivre les étapes suivantes :
  1. Préparer le vent en entrée
  2. Modéliser la turbine
  3. Effectuer une simulation pour connaître les charges
  4. Convertir ces charges en contraintes
  5. Évaluer les dommages

# Évaluation de la conception

## 1. Préparer le vent en entrée

- Les données d'entrée du vent constituent les conditions d'entrée de la conception et doivent être générées.
- Pour les vents extrêmes, les spécifications suivent les normes.
- Pour les régimes turbulents, il est possible de les simuler via des logiciels comme TurbSim.

## 2. Modéliser la turbine

- La modélisation doit prendre en compte l'aspect aérodynamique et mécanique.
- Lorsque cela est possible, il est préférable d'utiliser des modèles déjà disponibles.
- Il faut ensuite prendre en compte les entrées décrivant le besoin spécifique de la turbine (distributions de poids, de rigidité, les dimensions, les propriétés aérodynamiques...).

# Évaluation de la conception

## 3. Effectuer une simulation pour connaître les charges

- Exécution du modèle informatique.
- Plusieurs simulations sont nécessaires pour étudier la gamme complète des conditions de conception.

## 4. Convertir ces charges en contraintes

- La sortie des simulations est souvent constituée des forces, des moments de flexions et des couples s'appliquant sur l'éolienne.
- Il est ensuite nécessaire de les convertir en contraintes.
- Ceci est possible à l'aide de programmes simples utilisant les charges et les propriétés géométriques.

# Évaluation de la conception

## 5. Évaluer les dommages

- Deux tests doivent être réalisés.
- Le premier est le test de charges ultimes. Si les contraintes maximales sont suffisamment faibles lors du test dans les conditions extrêmes, le test de charges ultimes est validé.
- Le second est le test de charge de fatigue et est plus compliqué. Les dommages générés sur une période dépendent fortement des conditions de vent particulières et de leur durée. La distribution de la vitesse du vent est donc un facteur important.
- L'estimation des dommages par fatigue est obtenue à l'aide de logiciels et de codes.

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Codes informatiques pour la conception d'éolienne
- Évaluation de la conception
- ***Essai des composants***
- Conclusion

# Question

- À quoi sert un test de fatigue pour les pales ?
  - A. Estimer la durée de vie de la pale
  - B. Connaître la corde de la pale
  - C. Déterminer l'emplacement de la rupture initiale
  - D. S'assurer que la pale survit à la conception ultime charges
  - E. Déterminer la marge de conception de la résistance statique

# Essai des composants

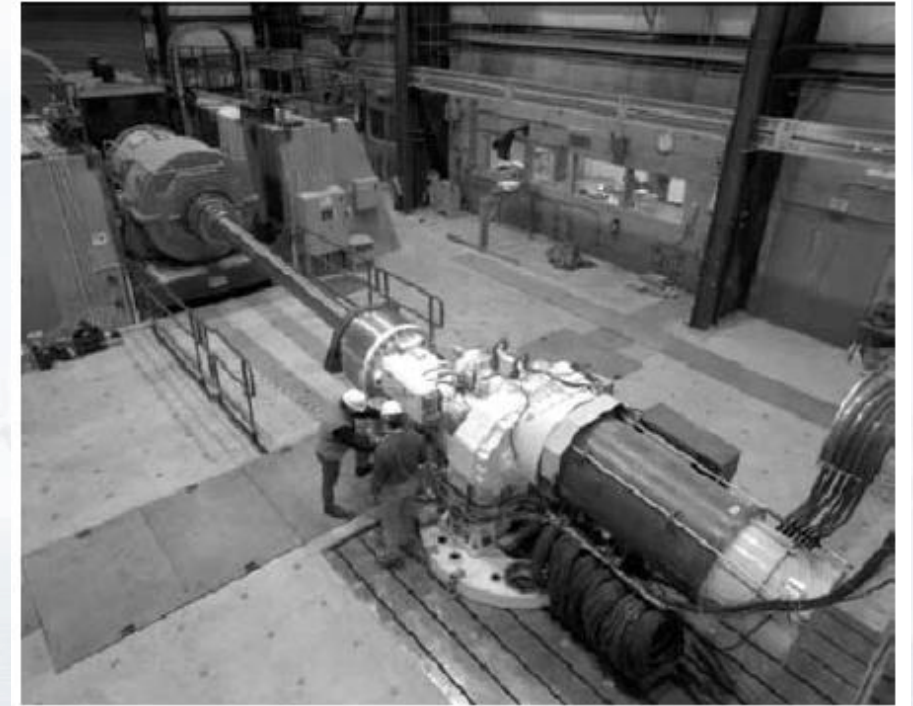
## ❖ Test des matériaux

- Tests sur des échantillons en traction, compression et torsion.
- Avec des charges constantes ou fluctuantes pour les tests de fatigues.
- Les matériaux composites posent des problèmes en raison des nombreuses combinaisons différentes de matrices et fibres.



# Essai des composants

- ❖ Test des composants du train de puissance
  - Certains des composants du train de puissance sont les plus sujets aux problèmes (boîte de vitesses, arbres et générateur).
  - Test des boîtes de vitesses par les fournisseurs avant expédition.
  - Tests d'endurance (charges élevées) → simuler l'usure sur la durée de vie en 6 mois.
  - Tests sous des conditions de vents turbulents.
  - Tests individuels des composants.
  - National Renewable Energy Laboratory (NREL)



# Essai des composants

## ❖ Test des pales

- Tests statiques → s'assurer que la pale survit à la conception de charges ultime (cas extrêmes). Des tests jusqu'à l'échec permettent de déterminer la marge de conception de la résistance statique.
- Tests de fatigue → charge cyclique sur la pale dans une ou plusieurs directions pour estimer la durée de vie et l'emplacement de la rupture initiale par fatigue.
- Tests pour des cas de charge sélectionnés.



# Essai des composants

## ❖ Test pour certifications

- Une fois conçues et prototypées, les éoliennes subissent des tests de certification.
- Mesure des charges de conception → Permet de valider la conception pour des cas critiques. Les méthodes de mesure de charges mécaniques doivent respecter la norme CEI.
- Courbe de puissance → La norme définit l'emplacement de la tour météo, l'étalonnage des appareils, les procédures... Chaque intervalle de vitesse de vent (par pas de 0,5 m/s) doit comporter au minimum 30 minutes de données.
- Niveaux d'émission sonores → Mesures autour de l'éolienne, dépend de la vitesse du vent.

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Codes informatiques pour la conception d'éolienne
- Évaluation de la conception
- Essai des composants
- ***Conclusion***

# Conclusion

- Les essais sur la conception d'une éolienne permettent d'étudier le respect ou non des normes.
- Le respect de ces dernières autorise la suite du projet et la construction de l'éolienne sur site.
- Dans le cas contraire, le retour à la phase de conception est obligatoire.
- Exemple de test effectué sur les pales (NREL) : [Validating Wind Turbine Blades at NREL's Structural Test Laboratory - YouTube](#)

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION !**



# MERCI



## Questions ?

Hussein IBRAHIM, Ph.D  
Tél: 418-962-9848 # 340  
[cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca](mailto:cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca)  
[Hussein\\_ibrahim01@uqar.ca](mailto:Hussein_ibrahim01@uqar.ca)  
[Hussein.ibrahim@itmi.ca](mailto:Hussein.ibrahim@itmi.ca)