

8. Parc éolien

8.2 Problèmes techniques rencontrés dans un parc



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

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Pertes de réseau
- Sillage des éoliennes
- Turbulence de sillage
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- Conclusion

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Pertes de réseau
- Sillage des éoliennes
- Turbulence de sillage
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Les faibles espacements entre les éoliennes d'un même parc sont sources de nombreux problèmes techniques.
- Comme mentionné dans le Module 2, la ressource éolienne varie en fonction de la topographie du terrain. La présence d'éoliennes dans le parc modifie donc la ressource.
- Cette présentation décrit la relation entre les différents espacements des éoliennes dans un parc éolien et les fluctuations de puissance de sortie de ces parcs.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Pertes de réseau***
- Sillage des éoliennes
- Turbulence de sillage
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- Conclusion

Question

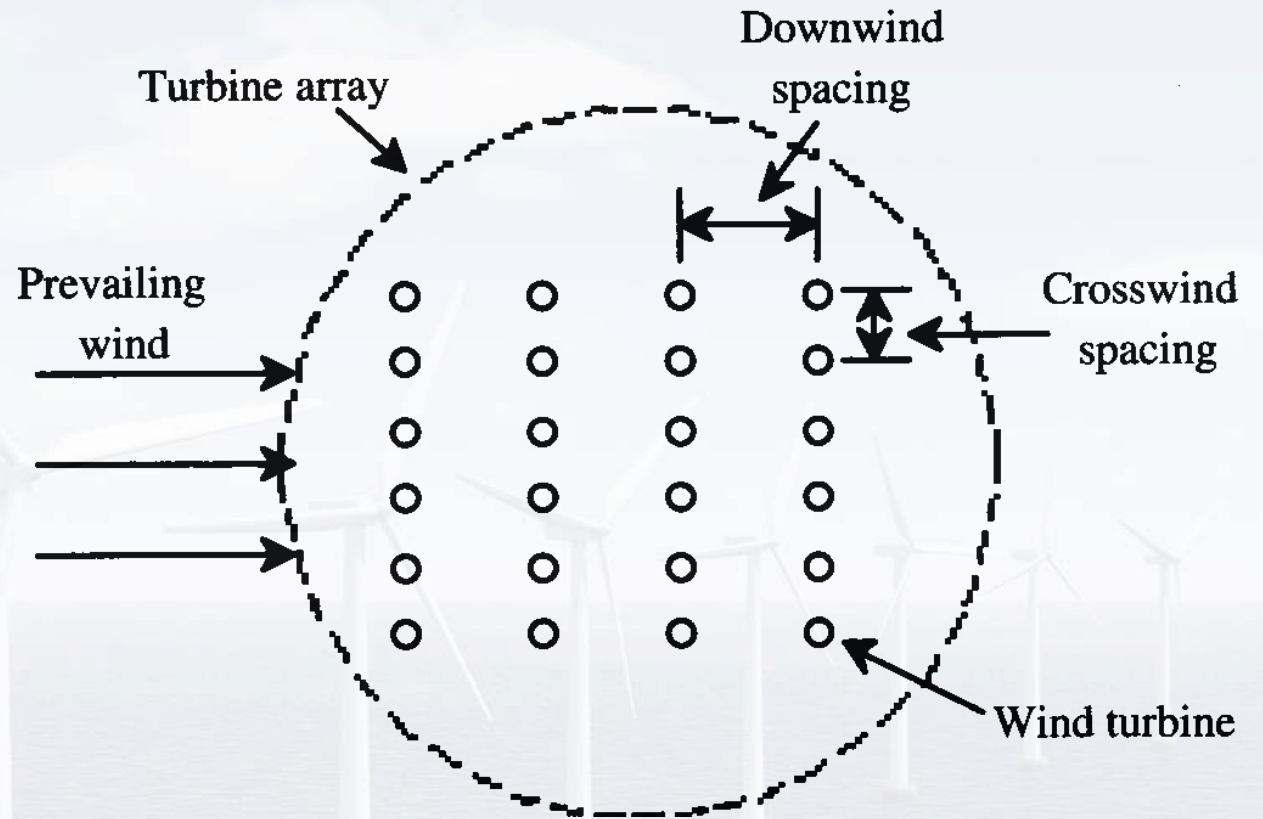
- De quoi peuvent dépendre les pertes de réseau rencontrées dans les parcs éoliens ?
 - A. L'espacement entre les éoliennes
 - B. Le nombre d'éolienne
 - C. La distribution de la fréquence du vent
 - D. La proximité des habitations
 - E. La présence d'oiseaux

Pertes de réseau

- La présence d'éoliennes en amont affecte la vitesse du vent et la capture de ce dernier par les éoliennes en aval.
- La production d'un parc est donc inférieure à celle du même nombre d'éoliennes mais utilisées de façon individuelle.
- Ces pertes dépendent de :
 - L'espacement des éoliennes (longitudinale et transverse)
 - Les caractéristiques de fonctionnement des éoliennes
 - Le nombre d'éolienne et la taille du parc
 - L'intensité des turbulences
 - La distribution de fréquence de la direction du vent (rose des vents)

Pertes de réseau

- Ces pertes peuvent être réduites en optimisant la géométrie du parc éolien.

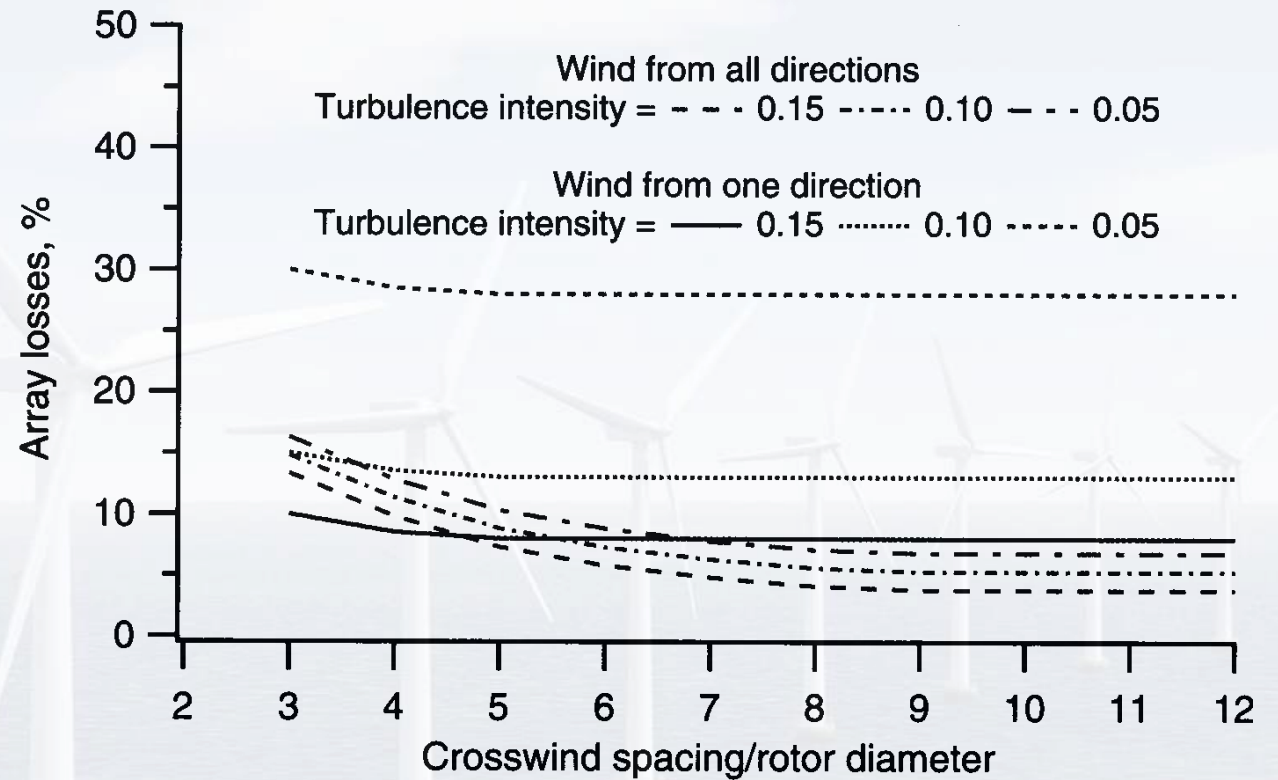


- Les pertes de réseau peuvent s'exprimer en tant qu'efficacité de réseau :

$$\text{Efficacité de réseau} = \frac{\text{Énergie annuelle du parc}}{(\text{Énergie annuelle d'une éolienne isolée}) * (\text{Nombre d'éoliennes du parc})}$$

Pertes de réseau

- Pour un parc éolien de 6 * 6 éoliennes séparées longitudinalement de 10 diamètres du rotor, le graphique présente les pertes en fonction de l'intensité de la turbulence et de l'espacement transversal :



- Pour des éoliennes espacées de 8 à 10 diamètres de rotor dans la direction longitudinale et de 5 diamètres dans celle transversale, les pertes de réseau sont généralement inférieures à 10 %.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Pertes de réseau
- ***Sillage des éoliennes***
- Turbulence de sillage
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- Conclusion

Sillage des éoliennes

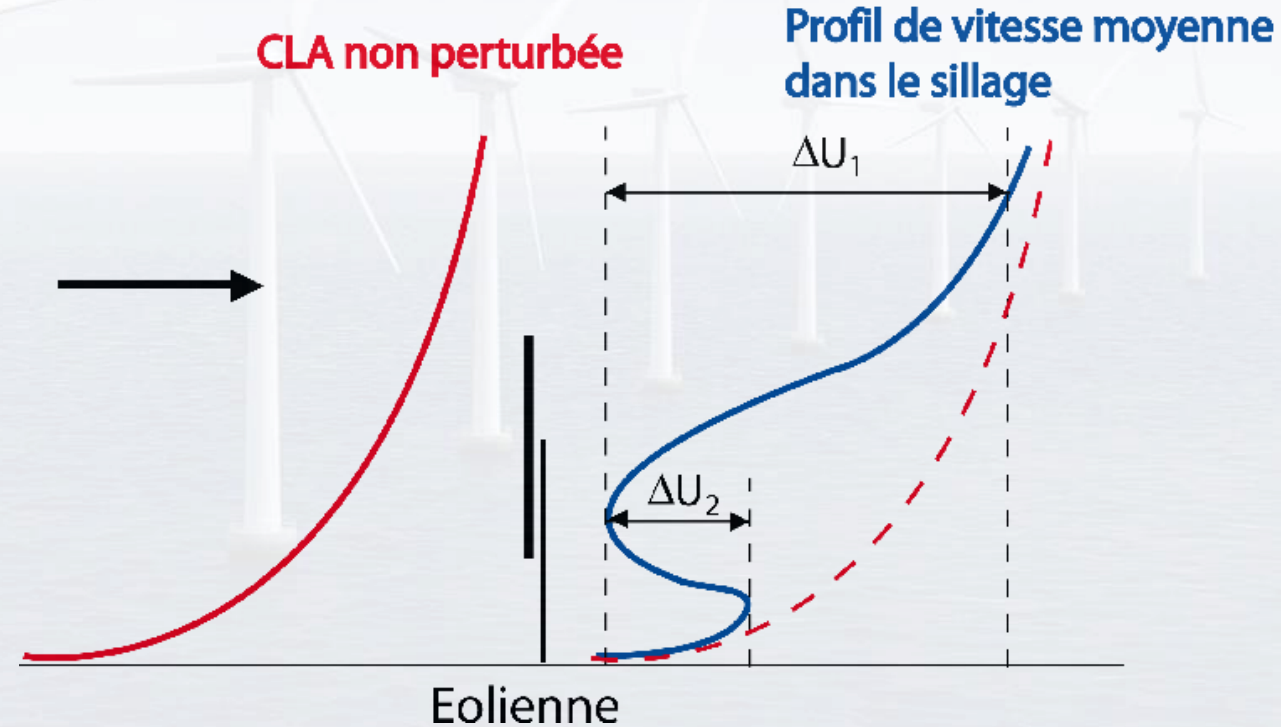
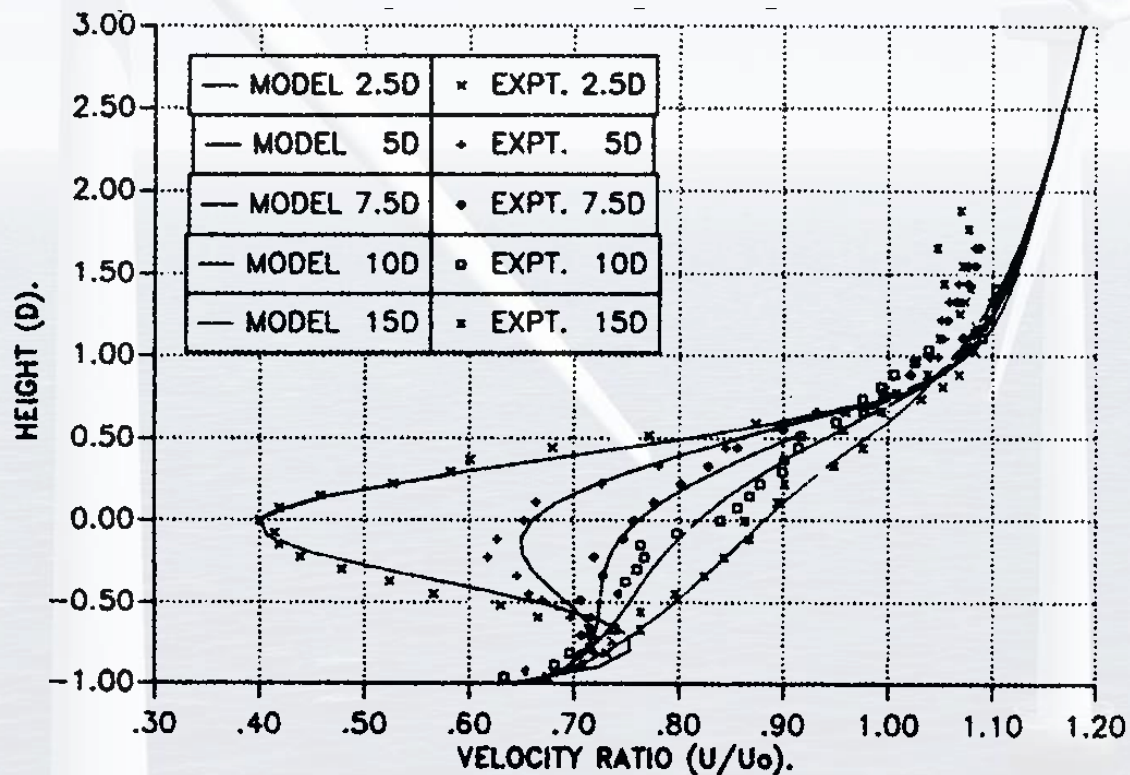
- Plusieurs modèles existent pour déterminer les pertes par sillage dans un parc éolien :
 - **Modèles de rugosité de surface :**
 - Basés sur les essais en soufflerie.
 - Le parc éolien est vu comme un changement de rugosité, ce qui impact le profil de vitesse.
 - Souvent basés sur des parcs réguliers de turbines en terrain plat.

Sillage des éoliennes

- **Modèles semi-empiriques :**
 - Décrivent les aspects importants de la perte d'énergie dans les sillages des turbines.
 - Issus de données obtenues en soufflerie et sur le terrain.
- **Solutions complètes de Navier-Stokes :**
 - Équations différentielles à trois dimensions définissant la conservation de la quantité de mouvement d'un fluide à viscosité et densité constantes.
 - Décrivent le mouvement des fluides newtoniens (les gaz et la majeure partie des liquides).
- **Modèles de viscosité turbulente :**
 - Basés sur des solutions aux équations simplifiées de Navier-Stokes.
 - L'hypothèse de symétrie axiale est utilisée pour résoudre les équations.

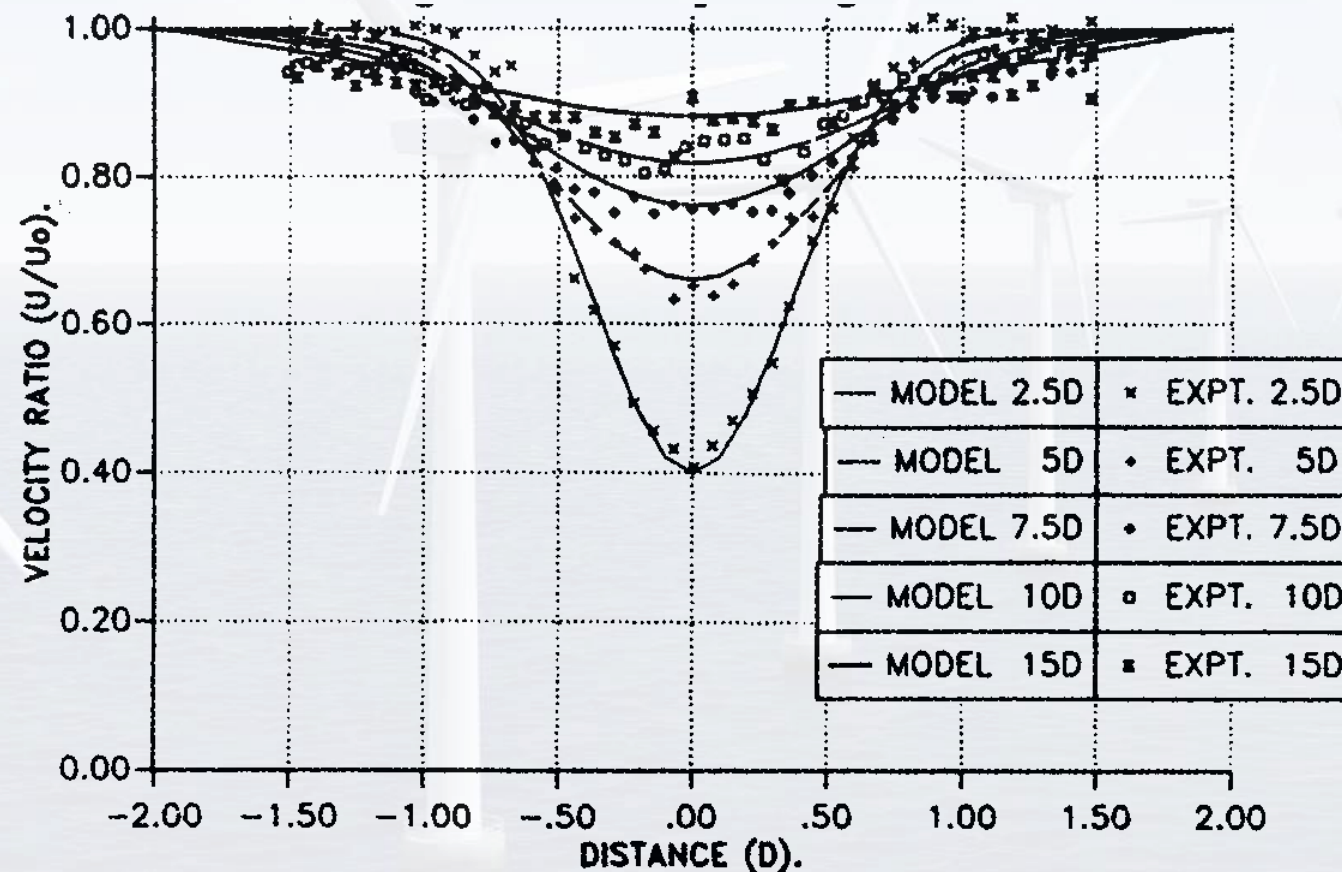
Sillage des éoliennes

- Profil de vitesse verticale de vent (expérimentales et par modèle de viscosité turbulente) pour différentes distances derrière l'éolienne (en diamètres de rotor) :



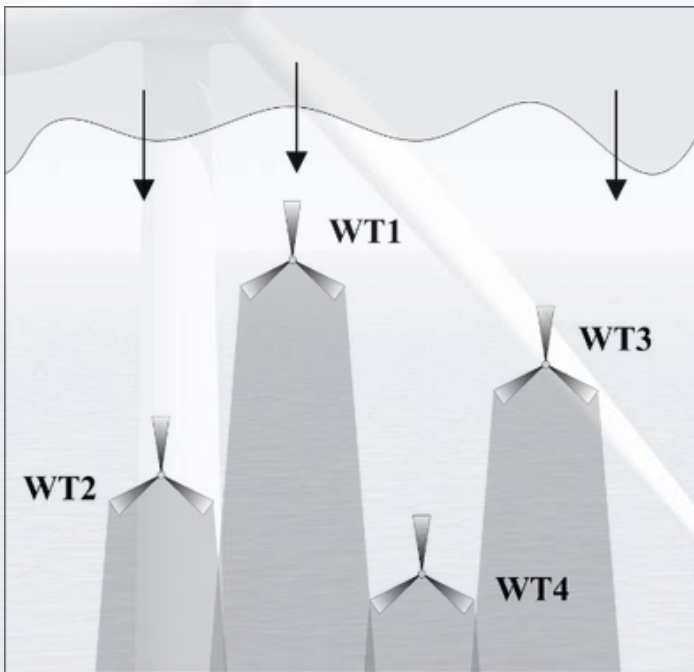
Sillage des éoliennes

- Profil de vitesse horizontale de vent à la hauteur de moyeu (expérimentales et par modèle de viscosité turbulente) :

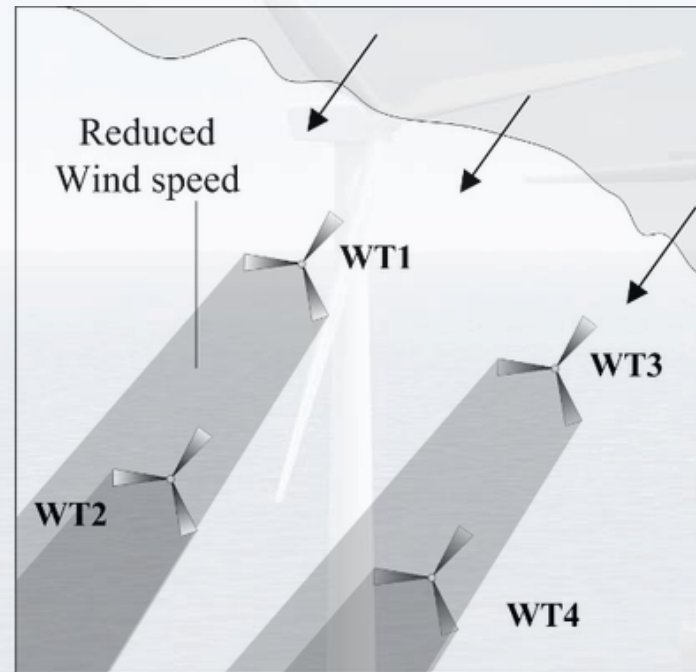


Sillage des éoliennes

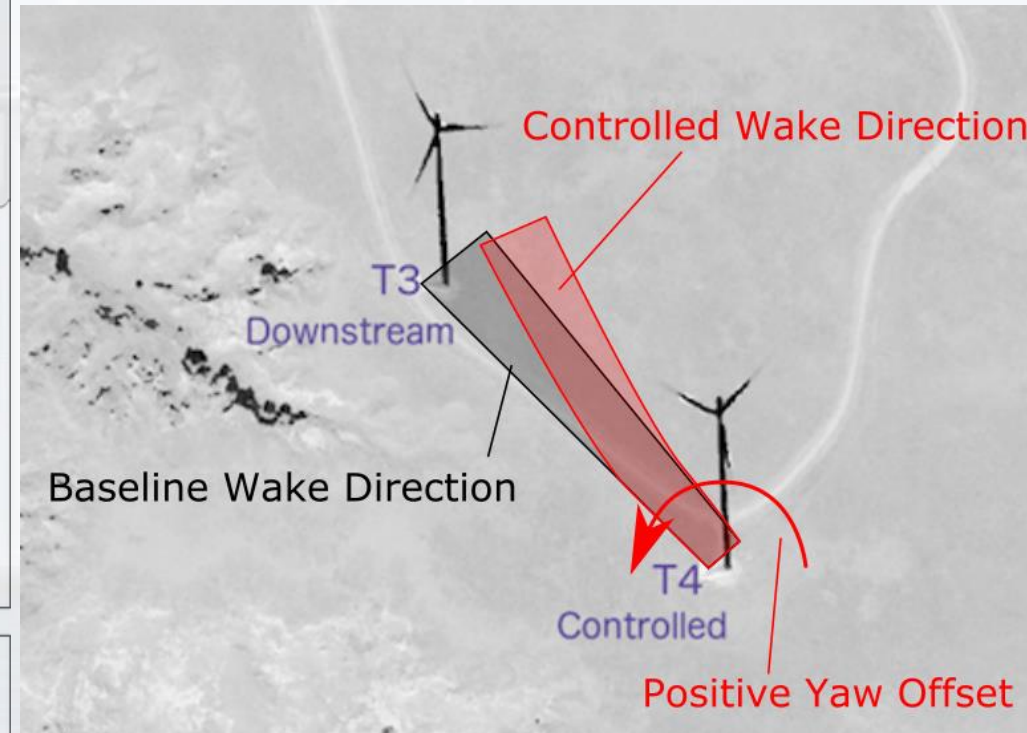
- Minimisation d'impact du sillage par contrôle intelligent du positionnement des éoliennes



Prevailing wind direction
-
Similar active power fluctuation
(Weak reactive power control effect)



Different wind direction (Yawing)
-
Wake effect is adapted
(Required revised assignment process)



Plan de cette présentation

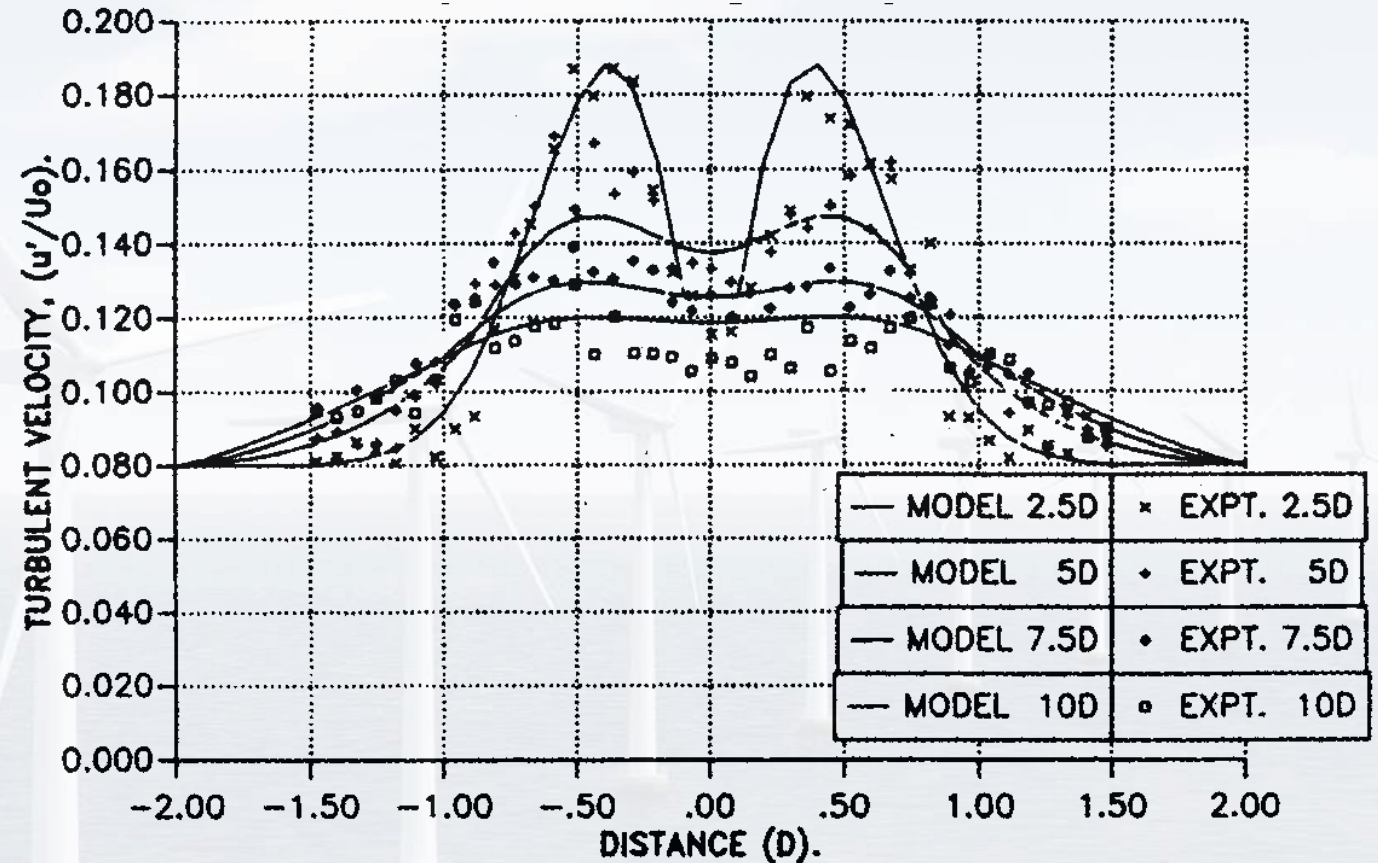
- Introduction et objectifs
- Pertes de réseau
- Sillage des éoliennes
- ***Turbulence de sillage***
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- Conclusion

Turbulence de sillage

- Les éoliennes situées sous le vent d'autres machines subissent des turbulences plus importantes.
- Ces turbulences sont provoquées par :
 - L'interaction du vent sur le rotor des éoliennes en amont.
 - Les modèles d'écoulement sur les surfaces supérieures et inférieures des extrémités du rotor.
- Les turbulences augmentent les charges de fatigue, réduisant ainsi leur durée de vie.

Turbulence de sillage

- Intensités de turbulence mesurées et prédites pour différentes distances derrière le rotor (en diamètre de rotor) dans un champ de vent ayant une intensité turbulente ambiante de 0,08 :



<https://www.youtube.com/watch?v=xybbsX73iec>

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Pertes de réseau
- Sillage des éoliennes
- Turbulence de sillage
- ***Courbe de puissance d'une ferme éolienne***
- Conclusion

Question

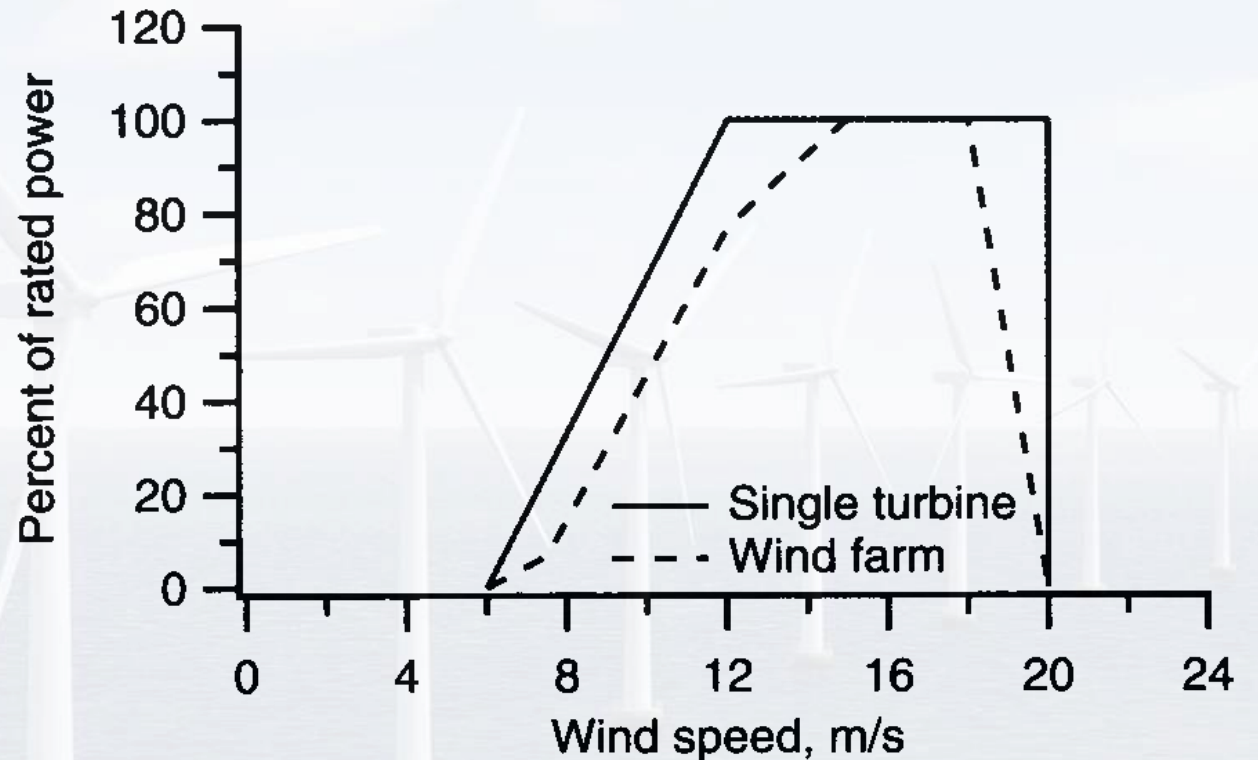
- Comment est affectée la courbe de puissance d'un parc éolien par rapport à celle d'une éolienne seule ?
 - A. La puissance nominale augmente légèrement
 - B. La puissance nominale est la même
 - C. La puissance nominale est atteinte plus tard
 - D. Si des éoliennes sont hors services, la puissance nominale diminue
 - E. Si des éoliennes sont hors services, la puissance nominale augmente

Courbe de puissance d'une ferme éolienne

- Les pertes de réseau et les turbulences de sillage ont des répercussions sur la production du parc.
- La première ligne d'éolienne située face au vent va produire de l'électricité de façon inchangée. Cette production va réduire la vitesse du vent pour les rangées suivantes.
- Lorsque la vitesse nominale du vent est atteinte, seule la première rangée d'éolienne produira à puissance nominale. Pour que l'ensemble du parc produise à puissance nominale, la vitesse du vent doit être un peu plus élevée.

Courbe de puissance d'une ferme éolienne

- La forme de la courbe de puissance en fonction de la vitesse du vent est donc différente pour un parc que pour une éolienne individuelle :



- Si certaines des éoliennes du parc sont hors-service, la puissance effective du parc est décalée vers le bas.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Pertes de réseau
- Sillage des éoliennes
- Turbulence de sillage
- Courbe de puissance d'une ferme éolienne
- ***Conclusion***

Conclusion

- La disposition et l'espacement des éoliennes dans un parc ont des conséquences importantes sur la production globale du parc.
- Des éoliennes trop rapprochées ne vont pas pouvoir tirer entièrement profit du régime de vent. La surface des parcs étant limitée, un compromis doit être fait.
- En plus de réduire la production, les sillages provoqués par les éoliennes en amont génèrent des turbulences augmentant ainsi les charges sur les éoliennes et diminuant leur durée de vie.

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