

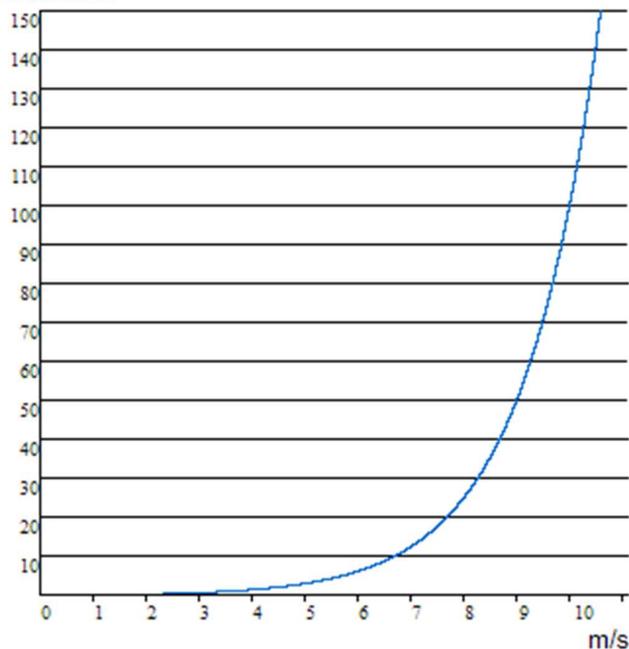


12.0 EXERCICE ÉNERGIE ÉOLIENNE

Exercice n°12.0.a : Puissance d'une éolienne

Voici un exemple de courbe de vitesse du vent pour une rugosité donnée. Le moyeu de l'éolienne sera à une hauteur de 50m, les pâles font 15m de long. Sur ce site, le vent ne souffle principalement que dans une seule direction. On considérera une densité de l'air de 1,2 kg/m³.

Longueur de rugosité = 0.1 m
m hauteur



© 2003 Soren Krohn & Danish Wind Industry Association

Rugosité
- Classe
- 2.0
Longueur
m 0.1

| | |
|-------|-------|
| 150 m | 10.59 |
| 140 m | 10.49 |
| 130 m | 10.38 |
| 120 m | 10.26 |
| 110 m | 10.14 |
| 100 m | 10 |
| 90 m | 9.85 |
| 80 m | 9.68 |
| 70 m | 9.48 |
| 60 m | 9.26 |
| 50 m | 9 |
| 40 m | 8.67 |
| 30 m | 8.26 |
| 20 m | 7.67 |
| 10 m | 6.67 |

[Tracer](#)

- Le coefficient de puissance du rotor C_p

$$C_p = \frac{\text{rotor power}}{\text{power in the wind}} = \frac{P_{\text{rotor}}}{P_{\text{wind}}} = \frac{P_{\text{rotor}}}{\frac{1}{2} \rho_{\text{ref}} U^3 A_{\text{rotor}}}$$

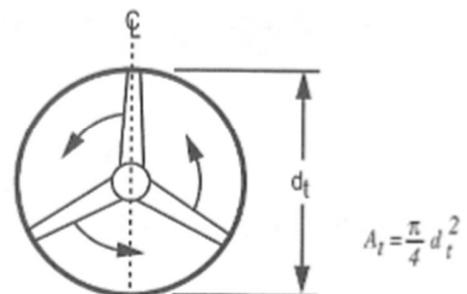
- Limite de Betz

$$C_{p,max} = \frac{16}{27} = 59,3\%$$

– **Pourquoi ?** De manière simple, si on puise trop d'énergie dans l'écoulement incident, on stoppe ce dernier et on arrête ainsi le phénomène

- Puissance maximale théorique d'une éolienne

$$P_{\text{rotor,max}} = C_{p,max} P_{\text{wind}} = \frac{16}{27} \left[\frac{1}{2} \rho_{\text{ref}} U^3 A_{\text{rotor}} \right]$$





QUESTIONS

Question 1 : Déterminer la vitesse moyenne du vent.

Question 2 : Quel axe choisir pour cette éolienne vertical ou horizontal ? Justifier.

Question 3 : Par la suite nous considérerons une éolienne à axe horizontal. Calculer la puissance cinétique du vent par unité de section du rotor pour la vitesse donnée à la question 1.

Question 4 : Estimer la puissance maximale théorique de l'éolienne

Question 5 : En considérant un rendement de 30%, déterminer la quantité d'énergie produite par an, en faisant l'hypothèse que cela correspond à la puissance moyenne multipliée par le nombre d'heures dans une année.

Question 6 : On souhaite maintenant surélever la même éolienne de 10m afin d'atteindre une vitesse de vent moyenne plus rapide. On considérera un coût de revente de 0.063\$/kWh.

Avec un coût de 16 k\$, au bout de combien de temps cet aménagement sera-t-il rentabilisé ?

Indice : Si l'on augmente la hauteur de l'éolienne de 50m à 60m, la vitesse augmente de 2,88%, d'après la courbe Q1.



REPONSES

Question 1 : Déterminer la vitesse moyenne du vent.

Vitesse = 9 m/s à 50m, il suffit de déterminer sur le graphique fourni l'endroit où la courbe bleue coupe 50 m sur l'axe vertical et de projeter verticalement vers l'axe horizontal.

Question 2 : Quel axe choisir pour cette éolienne vertical ou horizontal ? Justifier.

Il faut choisir l'axe horizontal. L'énoncé précise que le vent ne souffle que dans une seule direction, donc l'avantage d'un axe vertical ne serait pas utile. De plus la fabrication plus simple pour les axes horizontaux.

Question 3 : Par la suite nous considérerons une éolienne à axe horizontal. Calculer la puissance cinétique du vent par unité de section du rotor pour la vitesse donnée à la question 1.

La densité de l'air ρ_{ref} vaut 1,2 kg/m³, la vitesse du vent à 50m vaut 9m/s (cf. question précédente). La puissance cinétique est donnée par :

$$PE = 0,5 * \rho_{ref} * U^3 = 0,5 * 1,2 * 9^3 = 437,4 \text{ W/m}^2$$

Question 4 : Estimer la puissance maximale théorique de l'éolienne.

On utilise les formules : $P_{rotor,max} = \frac{16}{27} PE * A_{rotor}$ et $A_{rotor} = \frac{\pi}{4} * d^2$. Le diamètre de l'éolienne est égal à deux fois son rayon (15m), il vaut donc 30m. La puissance cinétique par unité de section du rotor est calculée à la question précédente. Donc :

$$A_{rotor} = \frac{\pi}{4} * 30^2 = 707 \text{ m}^2$$
$$P_{rotor,max} = \frac{16}{27} * 0,5 * 1,2 * 9^3 * 707 = 183 \text{ kW}$$

Question 5 : En considérant un rendement de 30%, déterminer la quantité d'énergie produite par an, en faisant l'hypothèse que cela correspond à la puissance moyenne multipliée par le nombre d'heures dans une année.

On multiplie la puissance maximale par le rendement de l'éolienne.

$$P_{moyenne} = \eta * P_{rotor,max} = 0,3 * P_{rotor,max} = 54,9 \text{ kW}$$

En sachant que 1W pendant 1h produit 1 Wh, on multiplie la puissance par le nombre d'heures par jour et le nombre de jours par an.

$$P_{moyenne} = 54,9 \frac{\text{kWh}}{\text{h}}$$
$$P_{moyenne/an} = 54,9 * 24h * 365j = 481 \text{ MWh/an}$$

Question 6 : On souhaite maintenant surélever la même éolienne de 10m afin d'atteindre une vitesse de vent moyenne plus rapide. On considérera un coût de revente de 0.063\$/kWh.

Avec un coût de 16 k\$, au bout de combien de temps cet aménagement sera-t-il rentabilisé ?

Indice : Si l'on augmente la hauteur de l'éolienne de 50m à 60m, la vitesse augmente de 2,88%, d'après la courbe Q1.

ENR – ÉNERGIE et ÉNERGIES RENOUVELABLES

Mise à jour : 2021-04-17

Si on surélève l'éolienne, on gagne 2,88% en vitesse du vent. Or la vitesse du vent apparaît au cube dans l'équation de la question 2. Donc une augmentation de 2,88% équivaut à multiplier la vitesse par 1,0288. Et $1,0288^3$ donne 1,087 soit un gain de 8,7% en puissance.

$\text{Gain/an} = \text{Gain (\%)} * P_{\text{moyenne/an}} * \text{Prix_elec} = 0.087 * 481000 * 0.063 = 2\,636\$/\text{an}$

$\text{PRI} = 16\,000\$/2636\$ = 6.1 \text{ ans environ}$