

Systèmes de conversion éolienne

EXERCICE 1 : Rayonnement L'Énergie Disponible dans le Vent

Vous évaluez deux sites potentiels pour une éolienne dont le rotor a un diamètre de 80 mètres.

Site A : vitesse moyenne du vent de 8 m/s.

Site B : vitesse moyenne du vent de 10 m/s.

Pour les deux sites, la masse volumique de l'air est la valeur standard : $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$.

La puissance du vent, notée P_{vent} , s'exprime en Watts et se calcule comme suit :

$$P_{\text{vent}} = 0,5 \times \rho \times A \times V^3$$

où A est la surface balayée par le rotor en m^2 , calculée par $A = \pi \times R^2$ (R étant le rayon du rotor, soit la moitié du diamètre), et V est la vitesse du vent en m/s.

1. Calculez la puissance totale disponible dans le vent pour chaque site. Exprimez le résultat en kilowatts (kW) ou en mégawatts (MW).
2. Comparez les deux résultats. Combien de fois la puissance du site B est-elle supérieure à celle du site A?
3. Si l'on augmente uniquement le diamètre du rotor sur le site A pour le porter à 100 mètres, quelle serait la nouvelle puissance du vent disponible sur ce site ? Commentez l'importance de ce changement par rapport à un changement de vitesse du vent.
4. Pourquoi une éolienne ne peut-elle pas extraire toute cette puissance ? Donnez le nom et la valeur approximative de la limite physique correspondante.

EXERCICE 2 : La Limite de Betz et la Puissance Extraite

Vous étudiez une éolienne moderne dotée d'un coefficient de performance maximal $C_{p_max} = 0,48$. La longueur d'une pale (le rayon du rotor) est $R = 45$ mètres. La masse volumique de l'air est $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ et la vitesse du vent est $V = 9 \text{ m/s}$.

La puissance mécanique extraite par le rotor, notée P_{ext} , est :

$$P_{\text{ext}} = C_p \times 0,5 \times \rho \times A \times V^3$$

où C_p est le coefficient de performance (rendement aérodynamique du rotor).

1. Calculez la surface balayée par le rotor A ($A = \pi \times R^2$).
2. Calculez la puissance maximale que cette éolienne peut extraire mécaniquement. Exprimez le résultat en kW ou MW .
3. Si l'on remplaçait cette éolienne par une éolienne idéale fonctionnant à la limite de Betz ($C_{p_Betz} = 16/27$), quelle serait la puissance extraite ? Quelle serait la différence de puissance en kW ?
4. Le coefficient C_p représente le rendement du rotor. Où se situent les autres pertes dans la chaîne de conversion qui empêchent de transformer toute l'énergie cinétique du vent en électricité ?

EXERCICE 3 : Extrapolation de la Vitesse du Vent avec l'Altitude

Vous êtes l'ingénieur projet et prévoyez d'installer une éolienne avec une hauteur de moyeu de 100 mètres. Une vitesse de vent de $6,0 \text{ m/s}$ a été mesurée à une hauteur de 10 mètres au-dessus d'un terrain agricole ouvert.

L'exposant de cisaillement (coefficient de la loi de puissance) approprié pour cette surface est $\alpha = 0,19$.

La formule pour estimer la vitesse V_2 à la hauteur z_2 à partir d'une vitesse V_1 mesurée à la hauteur z_1 est :

$$V_2 = V_1 \times (z_2 / z_1)^\alpha$$

1. Calculez la vitesse du vent estimée à 100 mètres sur ce site terrestre.
2. Si la même éolienne était installée en pleine mer, où l'exposant α est de 0,10, et que la vitesse mesurée à 10 mètres était identique ($6,0 \text{ m/s}$), quelle serait la vitesse du vent à 100 mètres ?
3. La puissance disponible étant proportionnelle au cube de la vitesse (V^3), calculez le rapport de la puissance disponible sur le site terrestre à celle disponible sur le site maritime à 100 mètres. Lequel des deux offre le plus de puissance dans ce cas précis ?
4. Indépendamment de la seule valeur de vitesse, citez deux autres raisons pratiques pour lesquelles un site en mer est souvent plus favorable à la production d'énergie, en évoquant le paramètre de forme k de Weibull et les turbulences.

EXERCICE 4 : Composants d'une Éolienne et Flux d'Énergie

Une éolienne est soumise à un vent dont la puissance totale disponible est $P_{\text{vent}} = 2 \text{ MW}$.

Le rendement aérodynamique du rotor (C_p) est de 0,45.

Le rendement mécanique du multiplicateur (boîte de vitesses) est de 96 % (soit 0,96).

Le rendement électrique de la génératrice est de 95 % (soit 0,95).

1. Calculez la puissance mécanique à la sortie du rotor, transmise à l'arbre lent. ($P_{\text{rotor}} = P_{\text{vent}} \times C_p$)
2. Calculez la puissance mécanique à la sortie du multiplicateur, transmise à l'arbre rapide. ($P_{\text{rapide}} = P_{\text{rotor}} \times 0,96$)
3. Calculez la puissance électrique à la sortie de la génératrice. ($P_{\text{elec}} = P_{\text{rapide}} \times 0,95$)
4. Quel est le rendement global du système, du vent à l'électricité ? ($\text{Rendement}_{\text{global}} = C_p \times 0,96 \times 0,95$). Comparez ce résultat à la limite de Betz et expliquez la différence.