

Baccalauréat STI2D

Session 2025

Épreuve : **Energies et environnement**

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 16

PROPOSITION DE CORRIGÉ

Partie 1 : comment choisir le lieu d'implantation des éoliennes ?

Question 1.1

Voir DR1 : on trac des cercles de centre E(1,2,3,4,5 et 6) avec un rayon de 500m (environ 2.5cm)

Pour les deux projets, une mesure sur le plan en document DR1 montre que la distance entre les éoliennes et les zones habitées les plus proches est supérieure à 500 mètres. La réglementation est donc bien respectée dans les deux cas.

Question 1.2

Voir DR2

Question 1.3

Bien que les deux projets respectent la distance réglementaire de 500 m avec les habitations, l'analyse des impacts environnementaux et paysagers montre un avantage net pour le projet 2. Il obtient un score de +7, contre -3 pour le projet 1. Le projet 2 minimise l'impact sur la faune (avifaune), réduit l'emprise au sol, s'éloigne des zones écologiquement sensibles comme les zones humides et a un impact visuel moins important sur le paysage et pour les habitants.

Donc le projet d'implantation N°2 est le plus pertinent.

Partie 2 : l'augmentation de cette production « verte » permet-elle d'assurer l'équivalent des besoins en énergie électrique des communes environnantes ?

Question 2.1

Puissance nominale totale :

La ferme est composée de 5 éoliennes de 2,4 MW chacune.

$P_{nominale_totale} = 5 \times 2,4 \text{ MW} = 12 \text{ MW}$

Énergie nominale annuelle :

$E_{nominale} = P_{nominale_totale} \times 24 \text{ h/jour} \times 365 \text{ jours/an} = 12 \text{ MW} \times 8760 \text{ h} = 105\,120 \text{ MWh}$

Énergie produite annuelle (avec facteur de charge) :

Le facteur de charge pour l'éolien est de 22%.

$E_{produite} = E_{nominale} \times f_c = 105\,120 \text{ MWh} \times 0,22$

$E_{produite} = 23\,126,4 \text{ MWh}$

Question 2.2

Énergie produite en kWh : 23 126,4 MWh=23 126 400 kWh

Consommation par foyer : 3 200 kWh par an (hors chauffage et eau chaude).

Nombre de foyers alimentés :

$$N_{\text{foyers}} = \frac{\text{Energie produite annuelle}}{\text{consommation annuelle par foyer}} = \frac{23\,126\,400\text{kWh}}{3200\text{kWh/foyer}} = 7227 \text{ foyers}$$

Question 2.3

Ce projet présente un grand intérêt au regard des enjeux climatiques.

En produisant environ 23 126 MWh d'électricité renouvelable par an, il peut subvenir aux besoins électriques (hors chauffage et eau chaude) de plus de 7 200 foyers.

Cela dépasse les 7 000 foyers des communes environnantes.

Ce projet contribue donc de manière décisive à l'objectif de la loi de transition énergétique d'atteindre 40% d'énergie renouvelable d'ici 2030 en fournissant une énergie décarbonée et en réduisant la dépendance aux énergies fossiles.

Partie 3 : ce projet est-il économiquement viable ?

Question 3.1

Voir DR3

Question 3.2

Voir DR4

Equation pour la dépense : $y = 540x + 18000$

Equation pour la recette : $y = 2500x$

Question 3.3

Le point de rentabilité est atteint lorsque les recettes cumulées égalisent les dépenses cumulées.

$$2500x = 540x + 18000$$

$$1960x = 18000$$

$$x = 18000 / 1960 \approx 9,18 \text{ ans}$$

Il faut donc un peu plus de 9 ans pour que l'installation devienne rentable.

Conclusion : Le projet est financièrement valide. L'investissement initial est rentabilisé en un peu plus de 9 ans, ce qui est bien inférieur à la durée de vie de l'éolienne qui est de 25 ans. Le projet générera des bénéfices pendant près de 16 ans.

Partie 4 : les éoliennes choisies conviennent-elles au regard des objectifs de la production visée ?

Question 4.1

Voir DR5

Question 4.2

Voir DR5

Question 4.3

Voir DR5

Question 4.4

Voir DR6

Pour une vitesse de vent de 5,5 m/s, on lit sur la courbe de puissance (DR6) une puissance disponible du vent (P_v) d'environ **1 000 kW**.

Question 4.5

Voir DR5

Question 4.6

Rendement global : $\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{multi}} \times \eta_{\text{gen}} \times \eta_{\text{conv}} \times \eta_{\text{trans}}$
 $\eta_{\text{global}} = 0,85 \times 0,90 \times 0,99 \times 0,95 \approx 0,719$ soit 71,9%.

Énergie produite par une éolienne :

Avec une puissance moyenne du vent de 1 MW :

$P_{\text{produite}} = P_{\text{vent}} \times \eta_{\text{global}} = 1 \text{ MW} \times 0,719 = 0,719 \text{ MW}$

$E_{\text{produite_1_eolienne}} = 0,719 \text{ MW} \times 8760 \text{ h/an} \approx 6\,298 \text{ MWh/an}$.

Question 4.7

Énergie totale estimée par calcul : $E_{totale_calculee} = E_{produite_1_eolienne} \times 5 = 6\,298 \text{ MWh} \times 5 = 31\,490 \text{ MWh/an}$.

Conclusion :

L'estimation du bureau d'études (25 000 MWh/an) est inférieure à notre calcul (environ 31 490 MWh/an).

L'estimation du bureau est donc prudente et réaliste, car notre calcul se base sur une puissance moyenne constante du vent, ce qui n'est pas le cas en réalité. L'estimation du bureau est donc validée.

Partie 5 : le mât des éoliennes peut-il résister aux actions mécaniques qu'il subit tout en limitant son impact environnemental ?

Question 5.1 :

Le mât, soumis à des efforts horizontaux à son sommet, subit principalement de la flexion.

Question 5.2 :

Voir DR7

Question 5.3 :

Le coefficient de sécurité s est calculé avec la formule $s = \frac{R_e}{\sigma_{ma}} \times s = \frac{6,204 \cdot 10^8 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}}{7,056 \cdot 10^7 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}} \approx 8,79$.

Question 5.4 :

Le coefficient de sécurité calculé ($s \approx 8,8$) est largement supérieur au coefficient de sécurité requis de 3. Le mât est donc correctement dimensionné pour résister aux efforts, il est même surdimensionné.

Question 5.5 :

Deux pistes d'amélioration pour optimiser la conception du mât :

-Utiliser un matériau avec une limite élastique plus faible mais suffisante pour se rapprocher du coefficient de sécurité de 3, ce qui pourrait réduire les coûts.

-Réduire l'épaisseur ou le diamètre du mât (surtout dans les zones moins sollicitées comme le haut) pour utiliser moins de matière, tout en maintenant un coefficient de sécurité acceptable.

Question 5.6 :

Gain de volume :

Volume cylindrique = $34,7 \text{ m}^3$; Volume conique = $27,78 \text{ m}^3$.

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{cylindrique}} - V_{\text{conique}}}{V_{\text{cylindrique}}} \times 100 = \frac{34,7 - 27,78}{34,7} \times 100 \approx 20\%$$

Le gain d'acier est de 20%.

Piliers du développement durable concernés :

-Pilier Économique : La réduction de 20% de la quantité d'acier nécessaire diminue directement les coûts d'achat de la matière première et potentiellement les coûts de transport et de fabrication.

-Pilier Environnemental : Utiliser moins d'acier signifie moins d'extraction de minerai de fer et moins d'énergie consommée pour la production de l'acier (un processus très énergivore), réduisant ainsi l'empreinte carbone globale du projet.

Partie 6 : Comment surveiller à distance et de façon fiable le fonctionnement des éoliennes

Question 6.1 :

Voir DR8

Question 6.2 :

Un réseau avec un masque /24 (255.255.255.0) permet 254 adresses IP utilisables (de .1 à .254).
Adresses utilisées : 1 (routeur) + 1 (serveur) + 5 (éoliennes) = 7 adresses.
Adresses encore disponibles : $254 - 7 = 247$. Il y a donc 247 adresses disponibles pour étendre le parc.

Question 6.3 :

Conversion de la valeur binaire $N = (01101001)_2$ en décimal.
 $N = (0 \times 128) + (1 \times 64) + (1 \times 32) + (0 \times 16) + (1 \times 8) + (0 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1) = 64 + 32 + 8 + 1 = 105$.
La valeur décimale est 105.

Fréquence de rotation : La valeur décimale (105) représente 10 fois la valeur réelle.
Fréquence réelle = $105/10 = 10,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 6.4 :

L'exploitant surveille 20 sites de 5 éoliennes, soit 100 éoliennes.
Le système réseau peut le supporter car un seul site dispose de 247 adresses libres.
La fréquence de rotation mesurée (10,5 tr/min) est inférieure à la fréquence maximale fixée par le constructeur (13,2 tr/min), le fonctionnement est donc normal.
La précision nécessaire est de 0,1 tr/min, et comme la valeur transmise est 10 fois la valeur réelle, le système mesure la vitesse avec une précision de 0,1 tr/min, ce qui est suffisant. La surveillance est donc tout à fait possible et fiable.

Partie A : La production d'énergie électrique de l'éolienne est-elle optimale ?

Question A.1 :

Le paramètre qui permet de tracer les différentes courbes sur le document DRS1 est la vitesse du vent V , exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question A.2 :

Calcul de la vitesse nominale de l'arbre lent N_L .

$$N_L = \frac{N_R}{m} = \frac{1500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}}{114,6} \approx 13,09 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}.$$

Question A.3 :

Calcul de la vitesse angulaire ω_L et vérification.

$$\omega_L = N_L \times 602\pi = 13,09 \times 602\pi \approx 1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Voir DRS1

En plaçant le point de fonctionnement pour $V=11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\omega_L=1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ sur le graphique DRS1, on observe que la puissance mécanique sur l'arbre lent est d'environ 2,4 MW.

Question A.4 :

Voir DRS2

Question A.5 :

Voir DRS3

Question A.6 :

Voir DRS3

Question A.7 :

En comparant les deux séries de points sur le graphique DRS3, on constate que les points de fonctionnement à vitesse angulaire constante ($\omega L = 1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$) ne coïncident pas avec les sommets des courbes de puissance (points de puissance maximale), sauf pour la vitesse de vent de $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pour toutes les autres vitesses, la puissance captée est inférieure au maximum possible.

Un fonctionnement à vitesse de rotation constante n'est pas optimal car il ne permet pas d'extraire la puissance maximale du vent, sauf à la vitesse de vent nominale.

Partie B : quel dispositif permet d'améliorer la production d'énergie ?

Question B.1 :

Calcul de l'écart angulaire $\theta_g - \theta_n$. $\theta_g - \theta_n = 28^\circ - 15^\circ = 13^\circ$.

Question B.2 :

L'écart calculé (13°) est supérieur à l'écart d'angle admissible θ_a de 12° .
Il est donc nécessaire de commander la nacelle en rotation.

Temps de réalignement = $\frac{\text{Ecart à corriger}}{\text{Vitesse de rotation}} = \frac{13^\circ}{0,5^\circ/\text{s}} = 26 \text{ secondes}$.

Question B.3 :

Voir DRS4

Question B.4 :

Voir DRS5

Question B.5 :

Voir DRS5

Question B.6 :

La mise en œuvre du dispositif d'asservissement de l'orientation de la nacelle est essentielle. Il permet de maintenir en permanence les pales de l'éolienne face au vent.

Cela garantit que la surface balayée par le rotor est maximale par rapport au flux de vent, ce qui maximise l'énergie cinétique captée et donc la production d'énergie électrique.
Sans ce système, la production chuterait de manière significative dès que la direction du vent change.

PARTIE C : comment produire une énergie électrique adaptée au réseau ?

Question C.1 :

Calcul du nombre de pôles du générateur.

La formule est $N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$.

$$p = \frac{60 \cdot f}{N_s} = \frac{60 \times 50 \text{ Hz}}{1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}} = 2.$$

Le générateur a 2 paires de pôles, soit 4 pôles.

Question C.2 :

Calcul de l'écart de vitesse admissible ΔN_R sur l'arbre rapide.

Pour $f=50 \pm 1$ Hz, la plage de vitesse est : $N_{R,\max} = \frac{60 \cdot 51}{2} = 1530 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

$$N_{R,\min} = \frac{60 \cdot 49}{2} = 1470 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

L'écart de vitesse admissible est donc $\Delta N_R = \pm 30 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question C.3 :

Calcul de l'écart de vitesse admissible sur l'arbre lent.

$$\Delta N_L = \frac{\Delta N_R}{m} = \frac{30}{114.6} \approx \pm 0,26 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Question C.4 :

L'écart de vitesse admissible sur l'arbre lent est de $\pm 0,26 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

La précision du capteur de vitesse est de $0,1 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

La précision du capteur ($0,1 \text{ tr/min}$) est plus fine que l'écart de vitesse à ne pas dépasser ($0,26 \text{ tr/min}$). Le capteur est donc suffisamment précis pour permettre de vérifier que la vitesse de l'arbre lent est dans la bonne plage avant d'autoriser le couplage au réseau en toute sécurité.