

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

Projet de ferme éolienne



Correction

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

- Question 1.1 | Voir DR1. D'après l'échelle 1 cm représente 200 m, on trace un cercle de 2,5 cm de rayon centré sur chaque éolienne et on vérifie qu'aucune habitation n'est à l'intérieur de la zone tracée. Les 2 projets respectent la réglementation. Remarque : les tracés peuvent se faire sans compas en traçant le segment le plus court entre chaque éolienne et l'habitation la plus proche.
- Question 1.2 | Voir DR2
- Question 1.3 | Les 2 projets respectent la réglementation d'implantation mais le projet N°2 est moins impactant sur l'environnement, il est donc retenu.

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 | $E_{\text{produite}} = E_{\text{nominale}} \times f_c$ avec $f_c=0,22$ pour l'éolien en région Rhône-Alpes
 $= P_{\text{nominale}} \times \text{Nombre d'heures sur une année} \times f_c$
 $= 2,4 \times 5 \times 365 \times 24 \times 0,22 = 23\,126,4 \text{ MW}\cdot\text{h}$
 $E_{\text{produite}} = 23\,126,4 \text{ MW}\cdot\text{h}$
- Question 2.2 | Nombre de foyers = $23\,126,4 / 3,200 = 7\,227$
- Question 2.3 | La ferme éolienne est capable de fournir l'énergie nécessaire pour tous les foyers (et même plus) à ses alentours.

Ce projet participe donc à l'augmentation des énergies renouvelables sur la région.

Partie 3 : ce projet est-il économiquement viable ?

- Question 3.1 | Voir DR3
DT3, DR3
- Question 3.2 | Voir DR4
DT3, DR4

Question 3.3 | Pour avoir un seuil de rentabilité, il faut déterminer le point d'intersection entre les 2 droites, dépenses et recettes.
 $18\,000 + 540 \times n = 2\,500 \times n$, soit $n = 9,2$ années.
 On observe que le projet est rentable au-delà de 9,2 ans. À cette date les recettes sont supérieures aux dépenses.
 Si une réponse est donnée à partir du graphique (9 ans) la réponse est acceptable.

Conclusion : avec une durée de vie de 25 ans, le projet est rentable économiquement.

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
 $P_v = 1000 \text{ kW}$

Question 4.5 | Voir DR5

Question 4.6 | $\eta = \eta_{\text{pales}} \times \eta_{\text{multiplicateur}} \times \eta_{\text{génératrice}} \times \eta_{\text{convertisseur}} \times \eta_{\text{transformateur}}$
 $\eta = 0,8 \times 0,85 \times 0,9 \times 0,99 \times 0,95 = 0,576$
 $\eta = 0,576$

Pour une puissance de 1 MW fournie par le vent, l'énergie produite par une éolienne est :

$E_{\text{produite}} = \eta \times E_{\text{vent}}$
 $E_{\text{produite}} = 0,576 \times 1 \times 365 \times 24$
 $E_{\text{produite}} = 5\,046 \text{ MW}\cdot\text{h}$

Question 4.7 | Avec les 5 éoliennes on obtient une énergie de $5 \times 5\,046 = 25\,230$ MW·h, ce qui confirme l'estimation du bureau d'études.

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 est soumis à de la flexion.

Question 5.2 | Voir DR7

Question 5.3 | $s = Re / \sigma_{max} = 6,204.108 / 7,056.107 = 8,8 \rightarrow s = 8,8$

Question 5.4 | $s=3 < 8,8$ Le coefficient de sécurité de la structure est largement supérieur à 3. \rightarrow Le mât est correctement dimensionné.

Question 5.5 | Pour optimiser la conception, on pourrait diminuer l'épaisseur du mât, diminuer son diamètre, Une nouvelle étude est alors à réaliser.

Question 5.6 | $\epsilon = \frac{V_{cyl.} - V_{con.}}{V_{cyl.}} \times 100 = \frac{34,7 - 27,78}{34,7} \times 100 = 20 \%$

On a un gain de 20% de matière

\rightarrow Le pilier **environnemental** est concerné car moins de matière première à extraire du sol.

\rightarrow Le pilier **économique** est également concerné car des économies sont faites grâce à ce gain de matière.

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

Question 6.1 | Voir DR8

Question 6.2 | Masque -> 256 possibilités =>
256 - add réseau - broadcast - 5 éoliennes - 1 serveur -1 routeur = 256 - 9 = 247

Question 6.3 | $01101001)_2 = 105)_{10}$
La vitesse réelle est donc 10 fois plus petite que la valeur de l'octet =>
 $10,5 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Question 6.4 | 247 est largement suffisant pour étendre le parc éolien.
Le type de donnée est bien choisi car la vitesse max est de $13.2 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$
soit 132 dans la valeur octet < 255.

DR1 : implantation des éoliennes

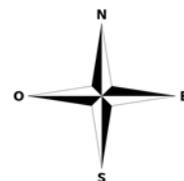
Légende utile

■ ■ : habitations

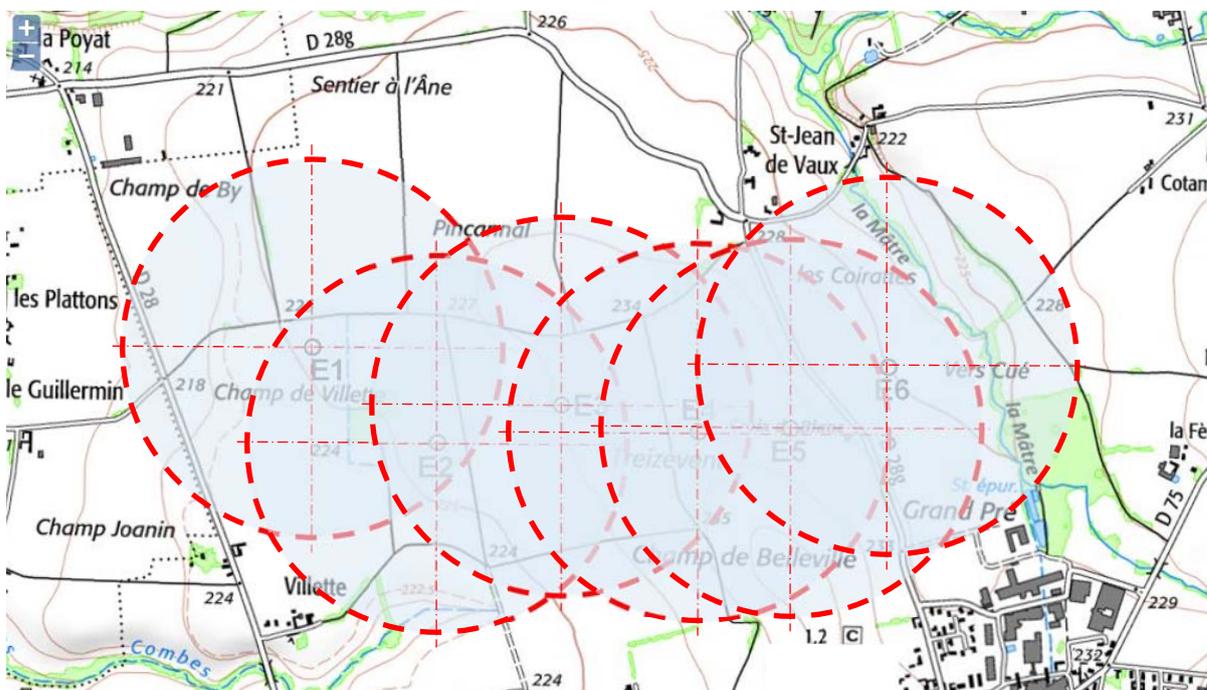
○ : éolienne

Échelle des plans

200m



Projet d'implantation N°1 (6 éoliennes : E1, E2, E3, E4, E5, E6)



Projet d'implantation N°2 (5 éoliennes : E1, E2, E3, E4, E5)



DR2 : analyse des deux projets

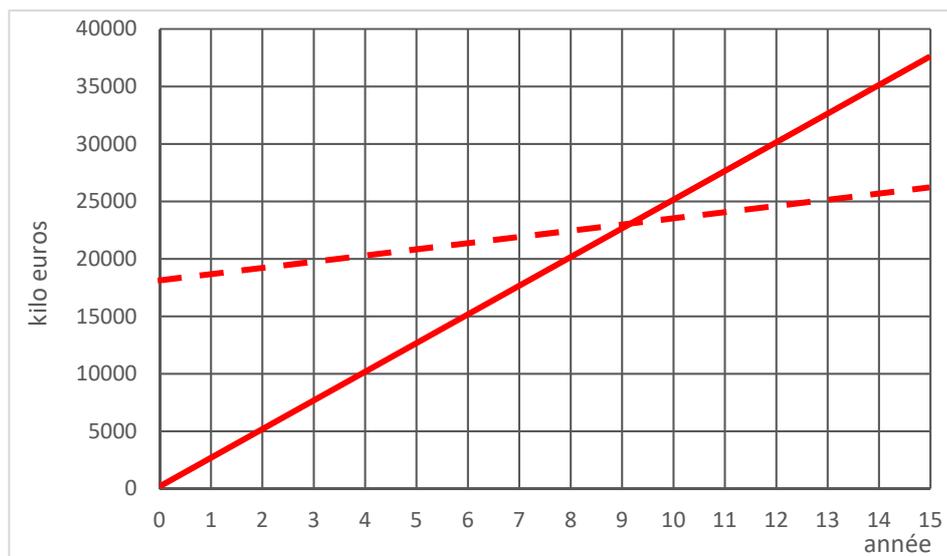
Critères Projet N°1	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7	Total
Pondération	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-3

Critères Projet N°2	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C2.5	C2.6	C2.7	Total
Pondération	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+7

DR3 : dépenses et recettes des 5 éoliennes

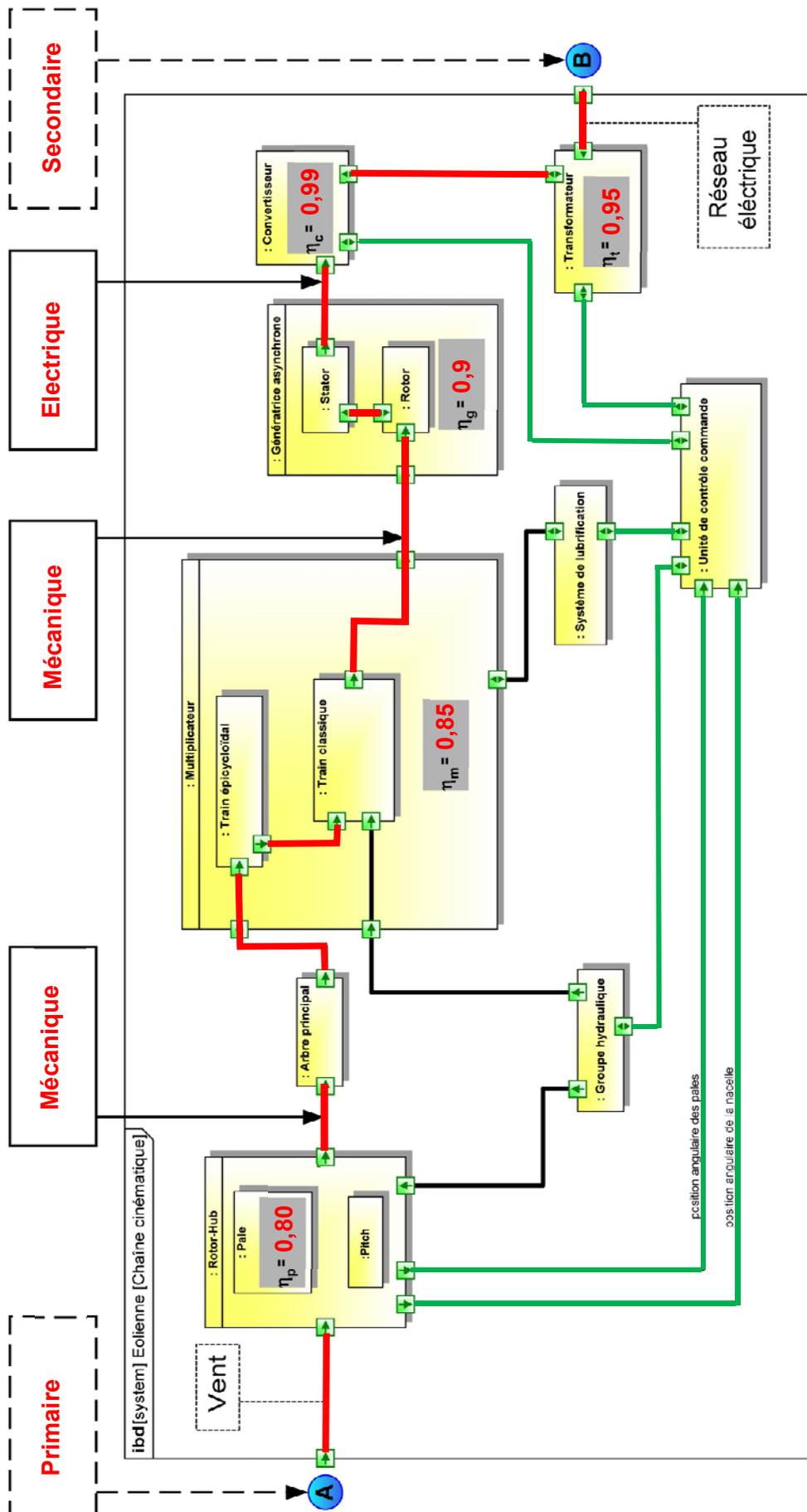
Pour la ferme de 5 éoliennes sur 1 an		
Dépenses		Recettes
Investissement	Maintenance	25 000 x 100 Soit 2 500 k€
1500 x 2400 x 5 Soit 18 000 k€	0,03 x 18 000 Soit 540 k€	

DR4 : viabilité financière

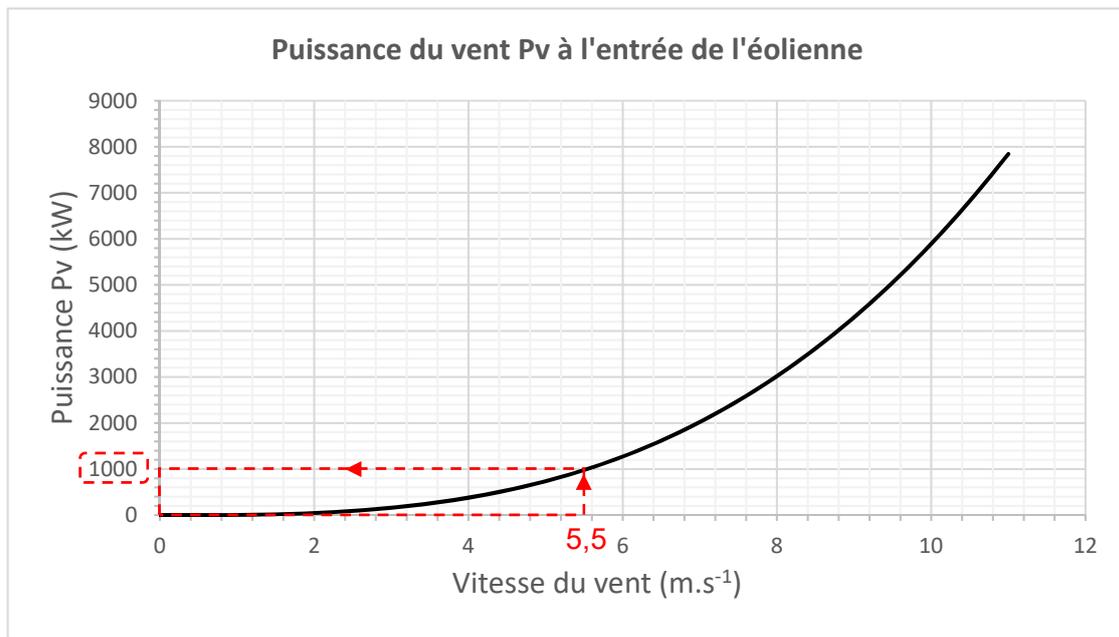


Légende
Recettes : ———
Dépenses : - - - - -

DR5 : diagramme des blocs internes (ibd)



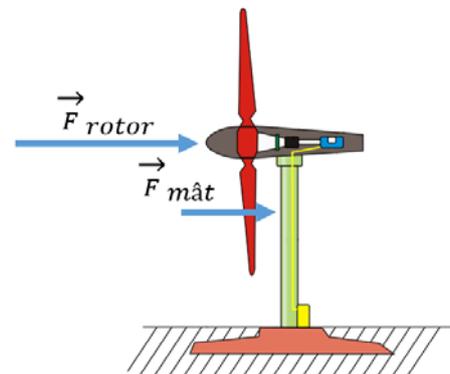
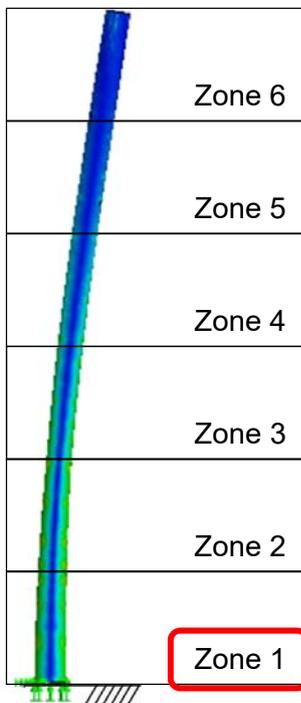
DR6 : courbe de puissance du vent



DR7 : résistance du mât seul

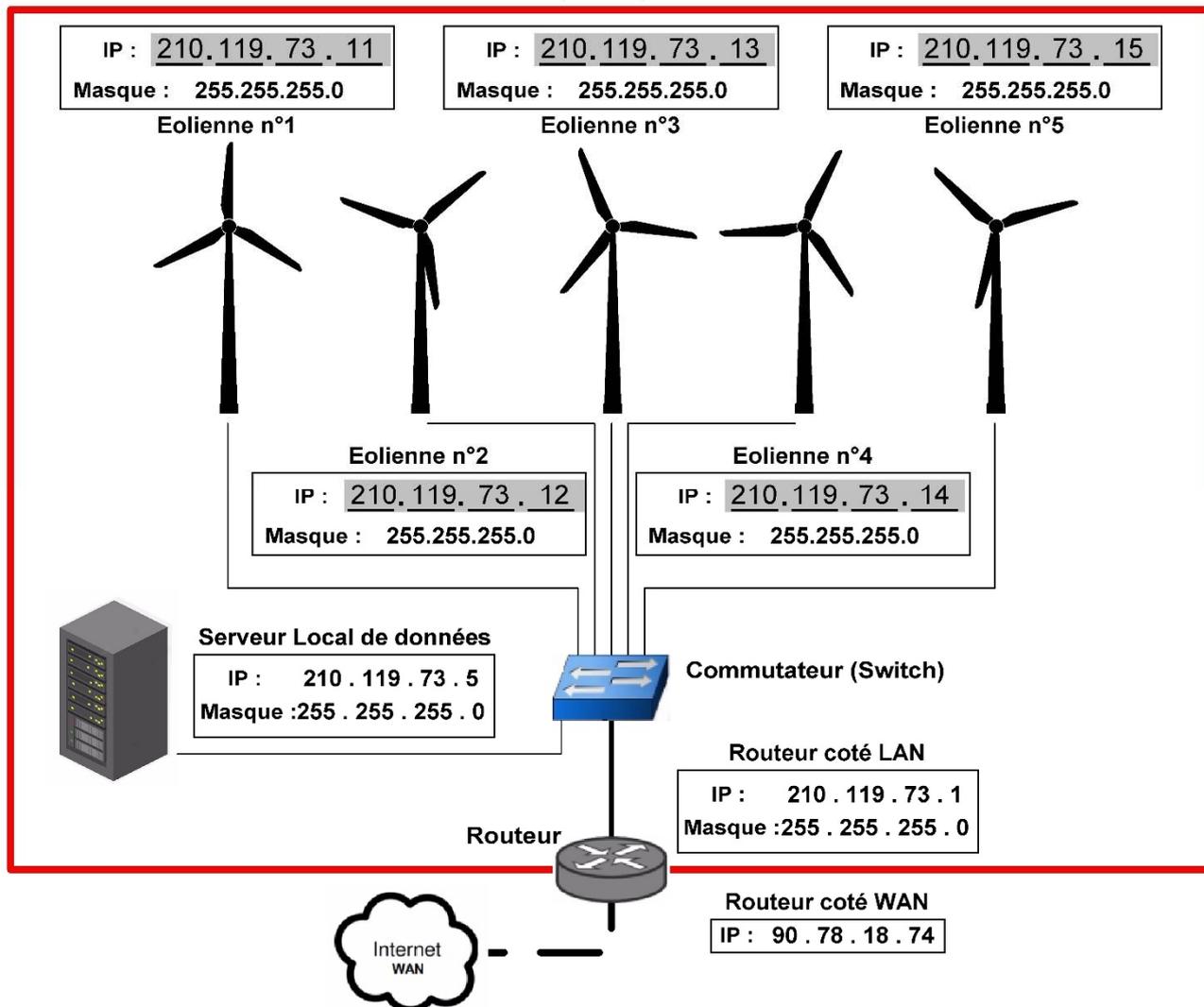
Zone la plus sollicitée

Simulation du mât isolé



DR8 : réseau local (LAN) site d'éoliennes

Réseau local (LAN) site éoliennes



ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Projet de ferme éolienne



**ELEMENTS DE
CORRECTION**

Partie A :

- Question A.1 | $m_{\text{pale}} = 8\,300 \text{ kg}$; $m_{\text{nacelle}} = 72\,000 \text{ kg}$; $m_{\text{mat}} = 210\,000 \text{ kg}$;
 $m_{\text{éol}} = 3 \times m_{\text{pale}} + m_{\text{nacelle}} + m_{\text{mat}} = 8\,300 + 72\,000 + 210\,000$
 $m_{\text{éol.}} = 306\,900 \text{ kg} = 306,9 \text{ tonnes.}$
- Question A.2 | Réponse : $V_3 = (\pi \cdot 18,5^2) \cdot 1,2/4$; $V_3 = 322,6 \text{ m}^3$
 $V_2 = (\pi \cdot 0,8/3) \cdot ((18,5/2)^2 + (4,5/2)^2 + (18,5/2) \cdot (4,5/2))$
 $V_2 = 93,4 \text{ m}^3$
 $V_1 = (\pi \cdot 4,5^2) \cdot 1,2/4$; $V_1 = 19,1 \text{ m}^3$
 $V_{\text{fond}} = V_1 + V_2 + V_3 = 435,1 \text{ m}^3$
 $m_{\text{fond}} = \rho \cdot V_{\text{fond}} = 2\,700 \times 435,1$; **$m_{\text{fond}} = 1\,174\,770 \text{ kg}$**
 $m_{\text{fond}} = 1\,174,77 \text{ tonnes}$
- Question A.3 | **$\|\vec{P}_V\| = (m_{\text{fond}} + m_{\text{éol}}) \cdot g = (1\,174\,770 + 306\,900) \cdot 9,81$ $\|\vec{P}_V\| = 14\,535 \text{ kN}$**
- Question A.4 | Charge climatique (neige, glace), charge d'exploitation (maintenance).
- Question A.5 | $S = \pi \cdot 18,5^2/4$; **$S = 268,8 \text{ m}^2$**
 $\sigma = \|\vec{V}\|/S$; $\sigma = 15\,000\,000/268,8 \cdot 10^6$ **$\sigma = 0,056 \text{ MPa}$**
- Question A.6 | $s = 0,3/0,056 = 5,35$
 $5,35 > 2$, donc validé
Le critère de poinçonnage est donc bien validé.

Partie B : la structure est-elle stable sous l'effet du glissement ?

- Question B.1 | $V_{\max} = 140 \text{ km.h}^{-1}$ soit environ 39 m.s^{-1} . D'après la courbe d'effort horizontal, cela représente une force d'environ 600 kN . $\|\vec{H}\| = 600 \text{ kN}$.
- Question B.2 | Effort horizontal à ne pas dépasser pour vérifier le non-glissement de la structure :
- $\frac{15\,000\,000 \times \tan(25)}{1000} = 6995 \text{ kN}$. L'effort horizontal subi par la structure avec des vents de 140 km.h^{-1} est de **600 kN** d'après la simulation aérodynamique. La structure ne glissera donc pas sous l'effet du vent (**600 < 6995**).
- Coef de sécurité = $6995/600 = 11$
- Question B.3 | Critère de poinçonnage : dans les conditions imposées et en ayant un coefficient de sécurité $s = 2$, le critère de poinçonnage est largement respecté. Le surdimensionnement est de l'ordre de 2,5 (0,15/0,056).
- Critère de glissement : là-encore, il ressort un surdimensionnement de la fondation de l'ordre de 11.
- Une des pistes de solution afin d'avoir une démarche d'écoconception serait de diminuer la masse de la fondation afin de limiter son impact environnemental : utiliser moins de matières premières.

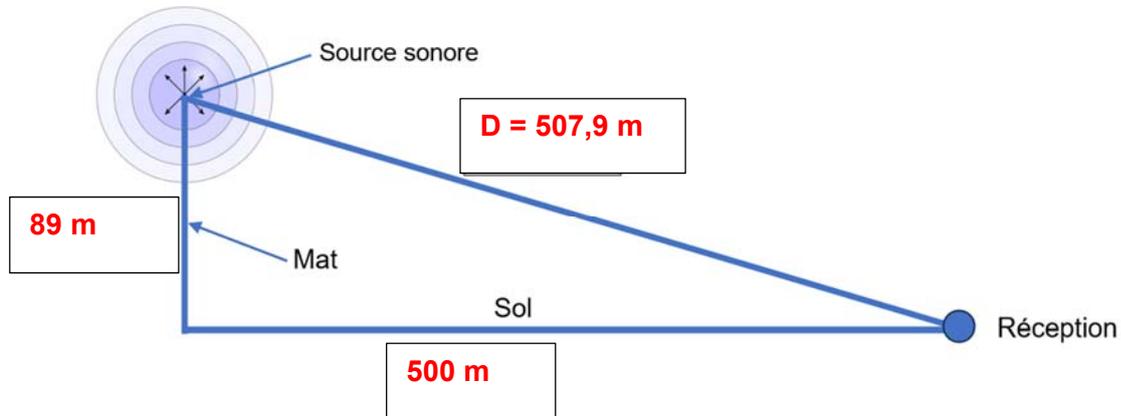
PARTIE C : le bruit généré par les éoliennes respecte-t-il la réglementation ?

- Question C.1 | Hauteur du mât = 89 m . $d = (89^2 + 500^2)^{1/2} \rightarrow D = 507,9 \text{ m}$
- Question C.2 | $Q = 1$ car source sonore éloignée du sol
- $$L_p = 102 + 10 \cdot \log \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 4^2}$$
- $$L_p = 79 \text{ dB(A)}$$
- Question C.3 | Voir DRS1
- Question C.4 | Voir DRS2

- Question C.5 | Période diurne : l'émergence diurne maximale relevée pour des vitesses de vent comprises entre 3 m.s^{-1} et 9 m.s^{-1} est de 2,3 dB(A). La limite à ne pas dépasser selon la réglementation en vigueur est de 5 dB(A). La réglementation durant la période diurne est ainsi respectée.
Période nocturne : l'émergence nocturne maximale relevée pour des vitesses de vent comprises entre 3 m.s^{-1} et 9 m.s^{-1} est de 1,8 dB(A). La limite à ne pas dépasser selon la réglementation en vigueur est de 3 dB(A). La réglementation durant la période nocturne est ainsi respectée.
- Question C.6 | Arrêter ou ralentissement des éoliennes ponctuellement si l'émergence dépasse les limites réglementaires → diminution de la production.
Créer un mur anti bruit au niveau des habitations concernées si le nombre d'habitation est limité.
Eloigner les éoliennes.
Pales d'hélices en forme de dents de scie.
-

DRS1 : distance - niveaux acoustiques

Question C.1



Réponse : hauteur du mât = 89 m. $D = (89^2 + 500^2)^{1/2} \rightarrow D = 507,9 \text{ m}$

Question C.3

Distance entre la source sonore et le point considéré en mètre	Niveau acoustique en dB(A)
1	91
2	85
4	79
8	73
16	67
32	61
64	55
128	49
256	43
516	37

Pour toutes les distances supérieures à 256 mètres le niveau sonore est inférieur à 45 dB(A). Les maisons étant toutes à plus de 500 m des éoliennes, soit 507,9 m de la source, le critère est validé.

DRS2 : émergence

Bilan <u>diurne</u>		Habitation la plus proche	Bilan <u>nocturne</u>		Habitation la plus proche
Vit. vent	Type de bruit	Bruit en dB(A)	Vit. vent	Type de bruit	Bruit en dB(A)
3 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	43,4	3 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	42,4
	Bruit ambiant	44,3		Bruit ambiant	43,2
	Emergence	0,9		Emergence	0,8
5 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	44,5	5 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	41,7
	Bruit ambiant	46,8		Bruit ambiant	43,5
	Emergence	2,3		Emergence	1,8
7 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	47,9	7 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	45,7
	Bruit ambiant	49,1		Bruit ambiant	46,8
	Emergence	1,2		Emergence	1,1
9 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	51,4	9 m.s ⁻¹	Bruit résiduel	47,1
	Bruit ambiant	52,2		Bruit ambiant	47,6
	Emergence	0,8		Emergence	0,5

Les bruits résiduel et ambiant ont été mesurés, l'émergence est à calculer.