BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

PARTIE commune (2,5h) ..... 12 points

Projet de ferme éolienne

Correction

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

Question 1.1

DR1

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 règlementation. 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

DT1, DR2

Voir DR2

Question 1.3

Les 2 projets respectent la règlementation 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

DT2

$E_{produite} = E_{nominale} \times f_c$ avec f_c=0,22 pour l'éolien en région Rhône-Alpes
$= P_{nominale} \times$ Nombre d'heures sur une année $\times f_c$
$=$ 2,4 x 5 x 365 x 24 x 0,22 = 23 126,4 MW·h
$E_{produite}$ = 23 126,4 MW·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

DT3, DR3

Voir DR3

Question 3.2

DT3, DR4

Voir DR4

Question 3.3

DT3

Pour avoir un seuil de rentabilité il faut déterminer le point d'intersection entre les 2 droites, dépenses et recettes.
18 000 + 540 x n = 2 500 x 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

DR5

Voir DR5

Question 4.2

DR5

Voir DR5

Question 4.3

DR5

Voir DR5

Question 4.4

DR6

Voir DR6

Pv=1000 kW

Question 4.5

DT4, DR5

Voir DR5

Question 4.6

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

Pour une puissance de 1 MW fournie par le vent, l'énergie produite par une éolienne est :
$E_{produite} = \eta \times E_{vent}$
$E_{produite} = 0,576 \times 1 \times 365 \times 24$
$E_{produite} = 5\ 046$ MW·h

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

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 / σmax = 6,204.108 / 7,056.107 = 8,8 ➔ s = 8,8

Question 5.4 | s=3 < 8,8 Le coefficient de sécurité de la structure est largement supérieur à 3. ➔ 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 | $\epsilon = \frac{V_{cyl.} - V_{con.}}{V_{cyl.}} \times 100 = \frac{34,7 - 27,78}{34,7} \times 100 = \mathbf{20}\ \%$
On a un gain de 20% de matière
➔ Le pilier **environnemental** est concerné car moins de matière première à extraire du sol.
➔ 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 DR8	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 $tr \cdot min^{-1}$
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 $tr \cdot min^{-1}$ soit 132 dans la valeur octet < 255.

DR1 : implantation des éoliennes

Légende utile

▮ ▬ : habitations

o : éolienne

Échelle des plans

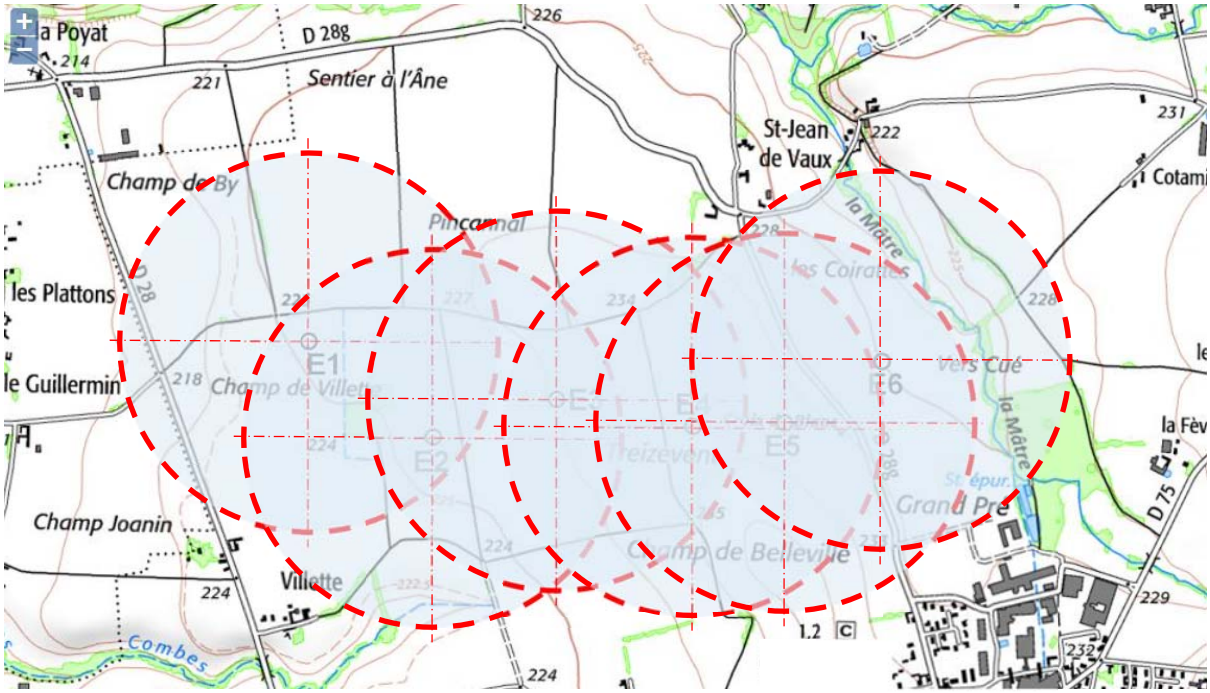
200m

N

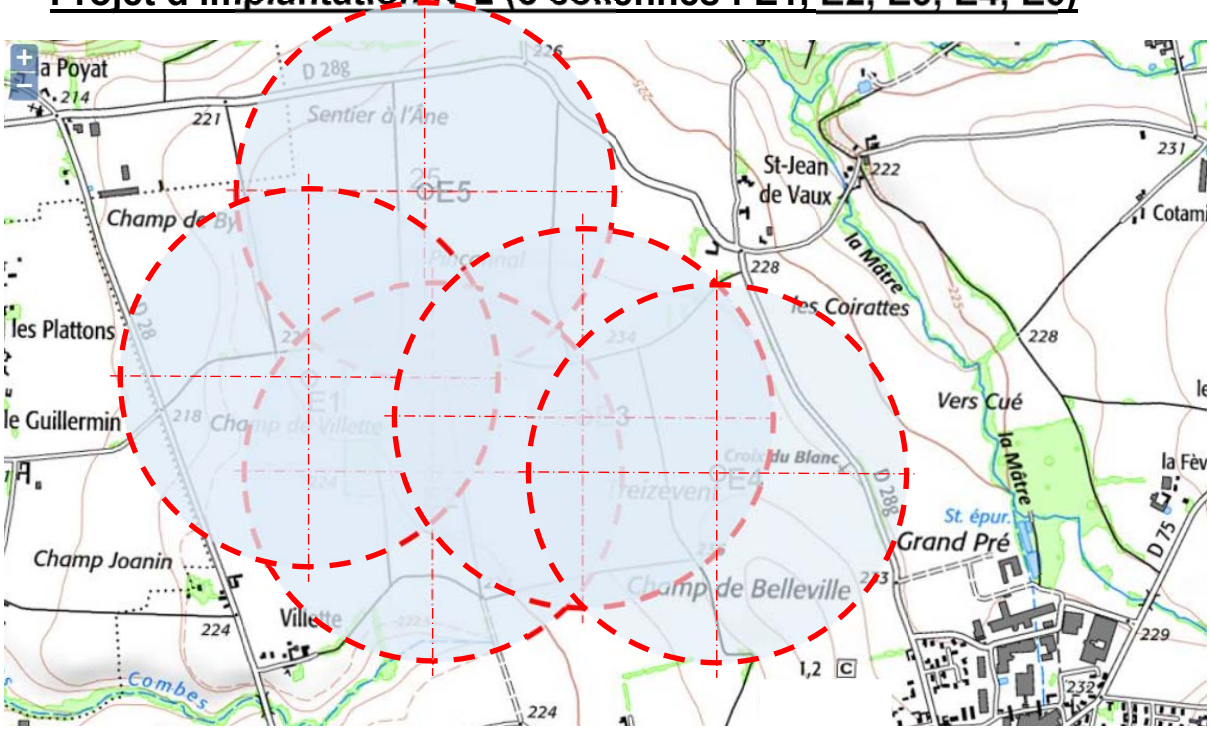
O E

S

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

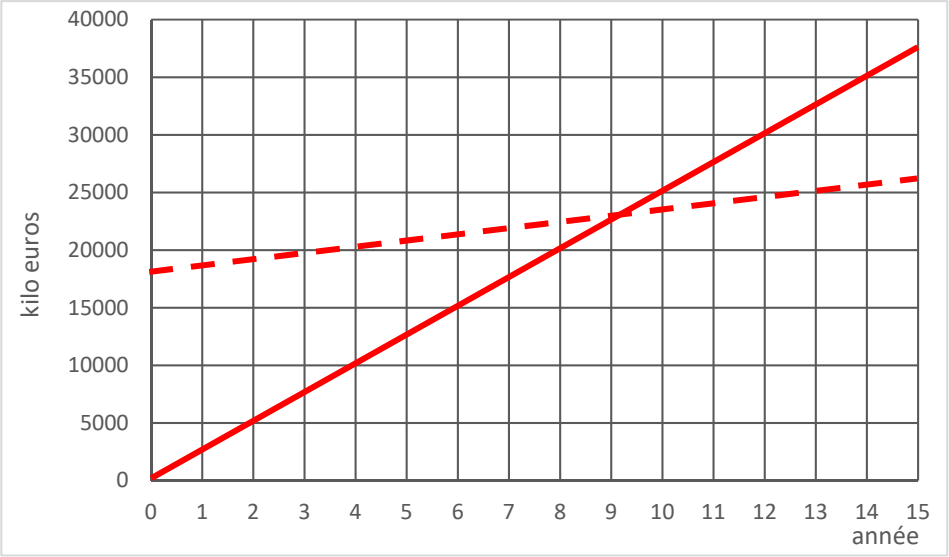
Critères Projet N°1	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7	**Total**
Pondération	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-3

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



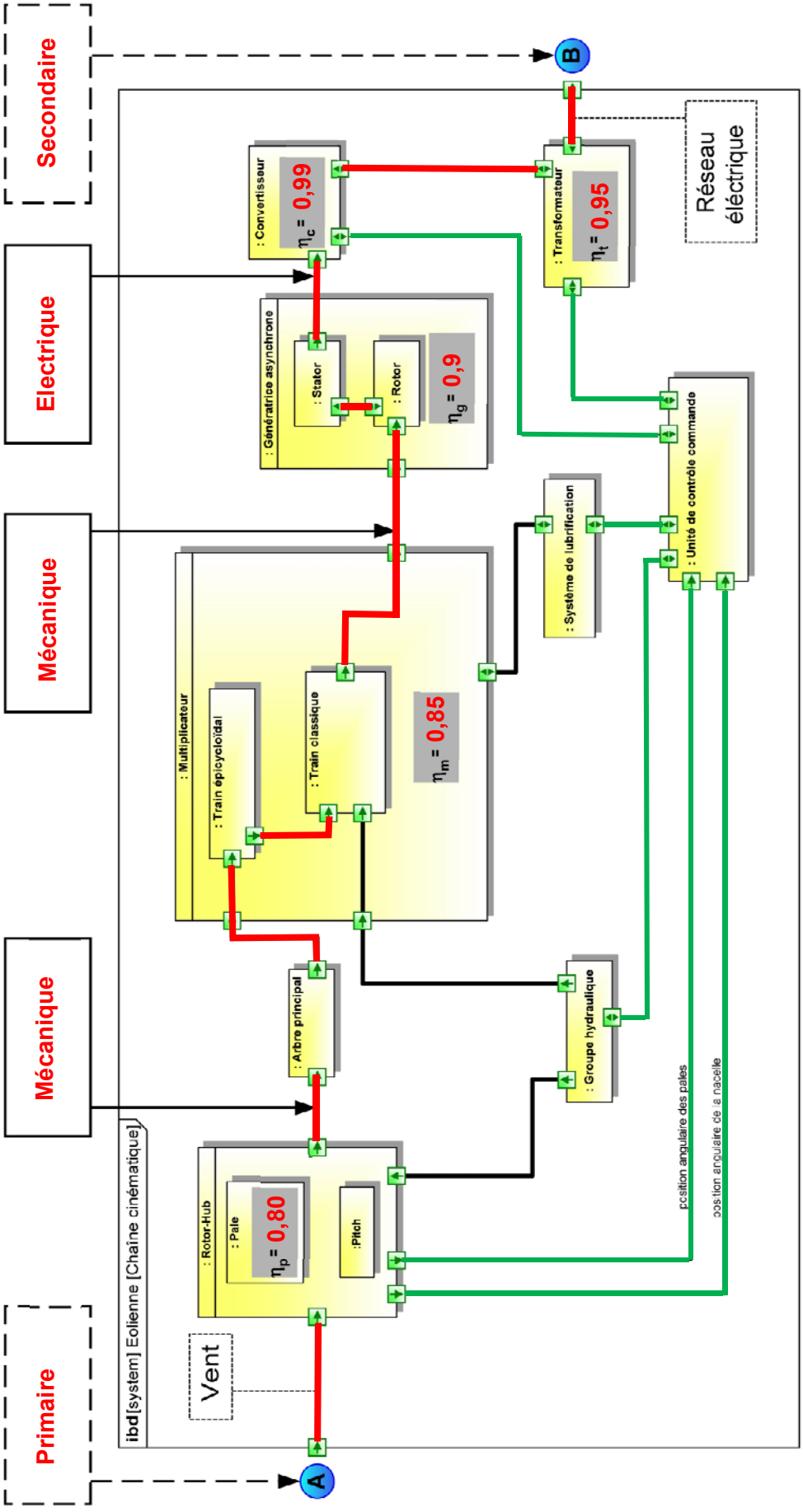
1 k€ = 1 000 €

Légende

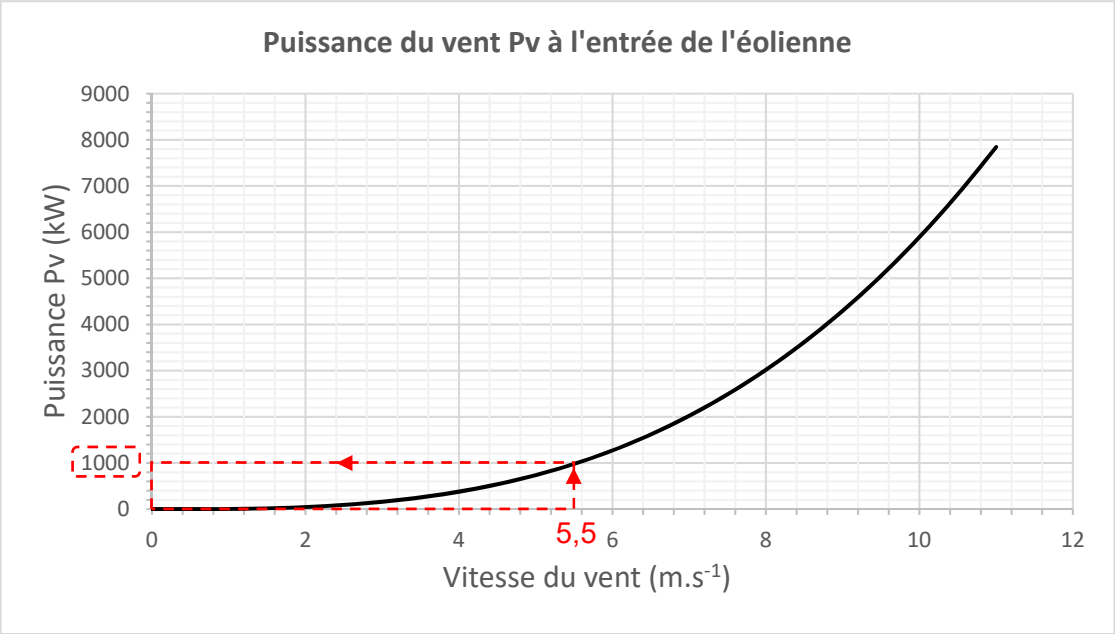
Recettes :

Dépenses :

DR5 : diagramme des blocs internes (ibd)



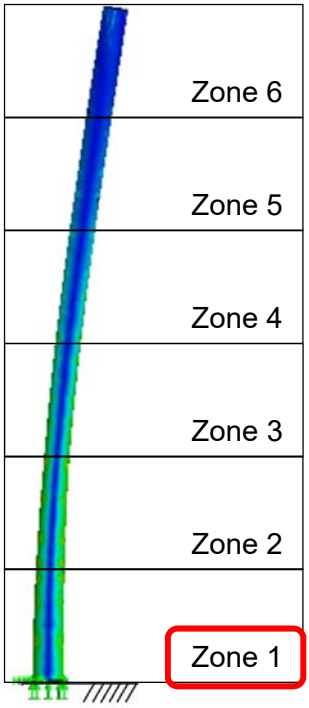
DR6 : courbe de puissance du vent

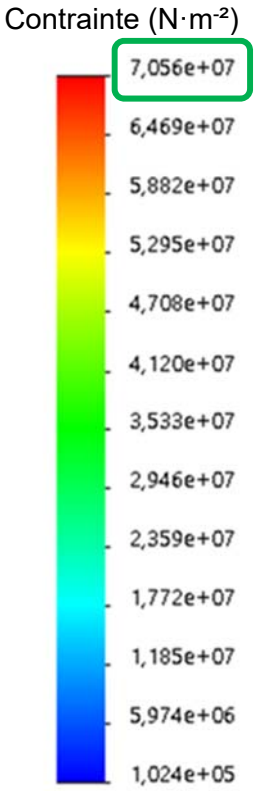


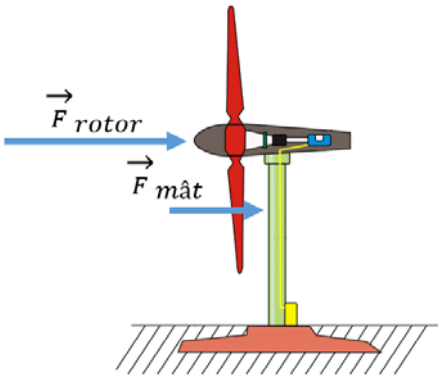
DR7 : résistance du mât seul

Zone la plus sollicitée

Simulation du mât isolé

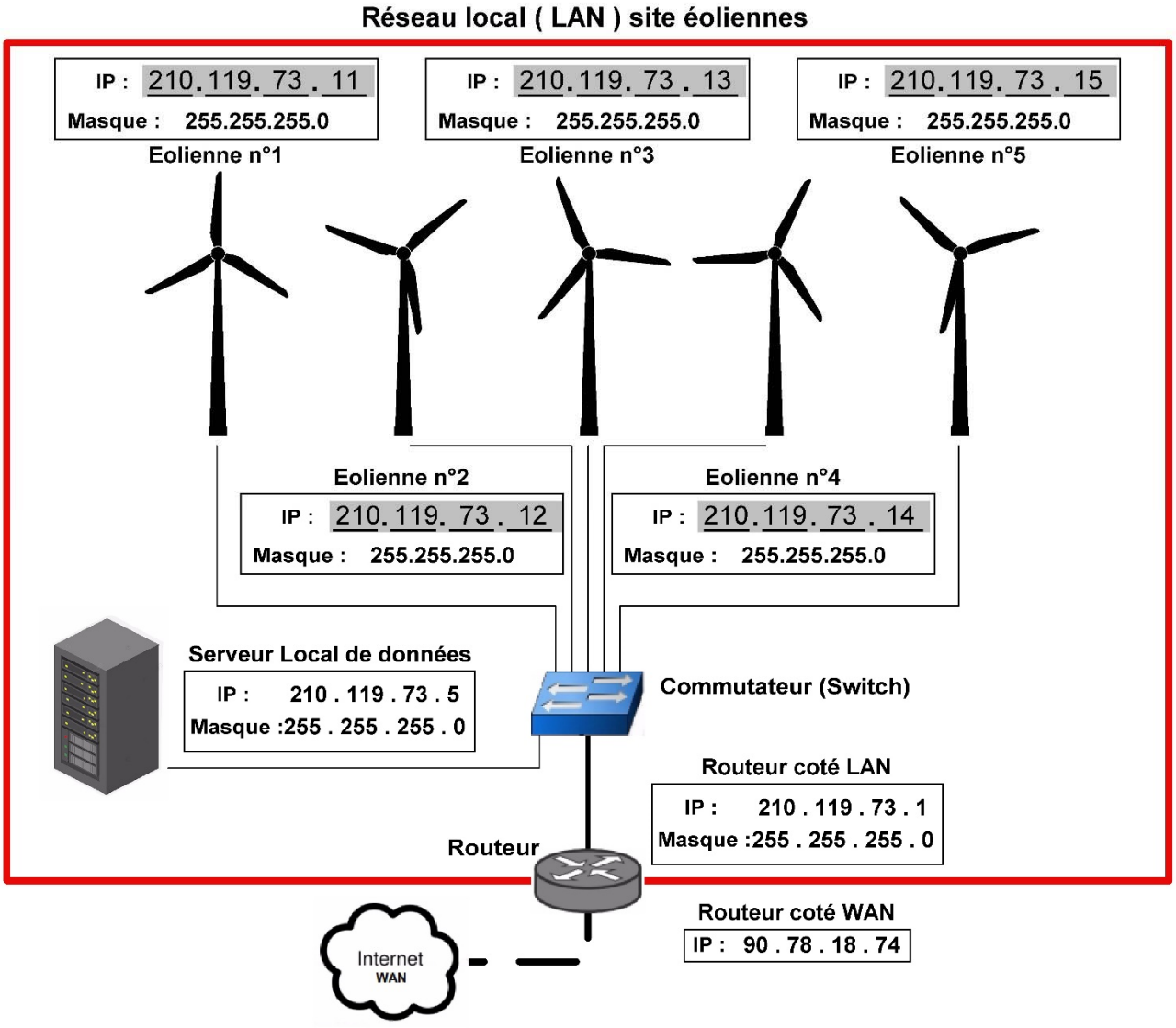






→ Limite élastique du matériau du mât : 6,204e+08 (N·m-2)

DR8 : réseau local (LAN) site d'éoliennes



PARTIE SPÉCIFIQUE (1,5h) ..... 40 points

CORRECTION

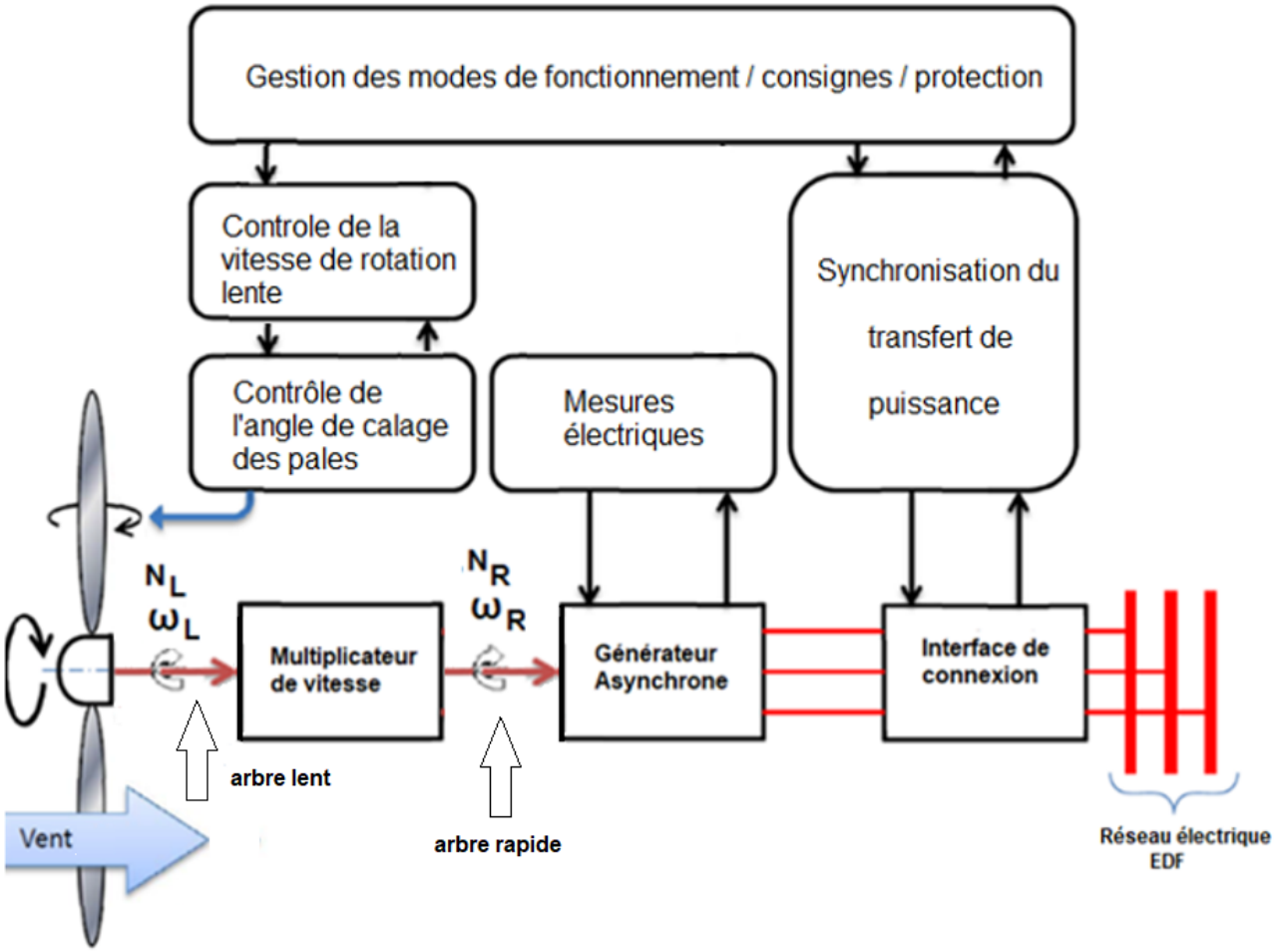
ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Projet de ferme éolienne

Mise en situation :

La ferme éolienne est composée de 5 éoliennes de puissance 2,4MW chacune pour une puissance totale de 12MW. L'éolienne est constituée d'un rotor à 3 pales, d'une nacelle orientable et d'un mât tubulaire.

Le synoptique ci-dessous décrit de manière simplifiée la structure électrique de l'éolienne.



Notation :

- Sur l'arbre lent (entrée multiplicateur de vitesse) : La vitesse de rotation est notée N_L (tr.min-1) et la vitesse angulaire ω_L (rad.s-1).
- Sur l'arbre rapide (sortie multiplicateur de vitesse) : La vitesse de rotation est notée N_R(tr.min-1) et la vitesse angulaire ω_R (rad.s-1).

Travail demandé

Partie A :

Question A1 : C'est un réseau de courbes paramétré par la vitesse du vent V.

- Vitesse du vent

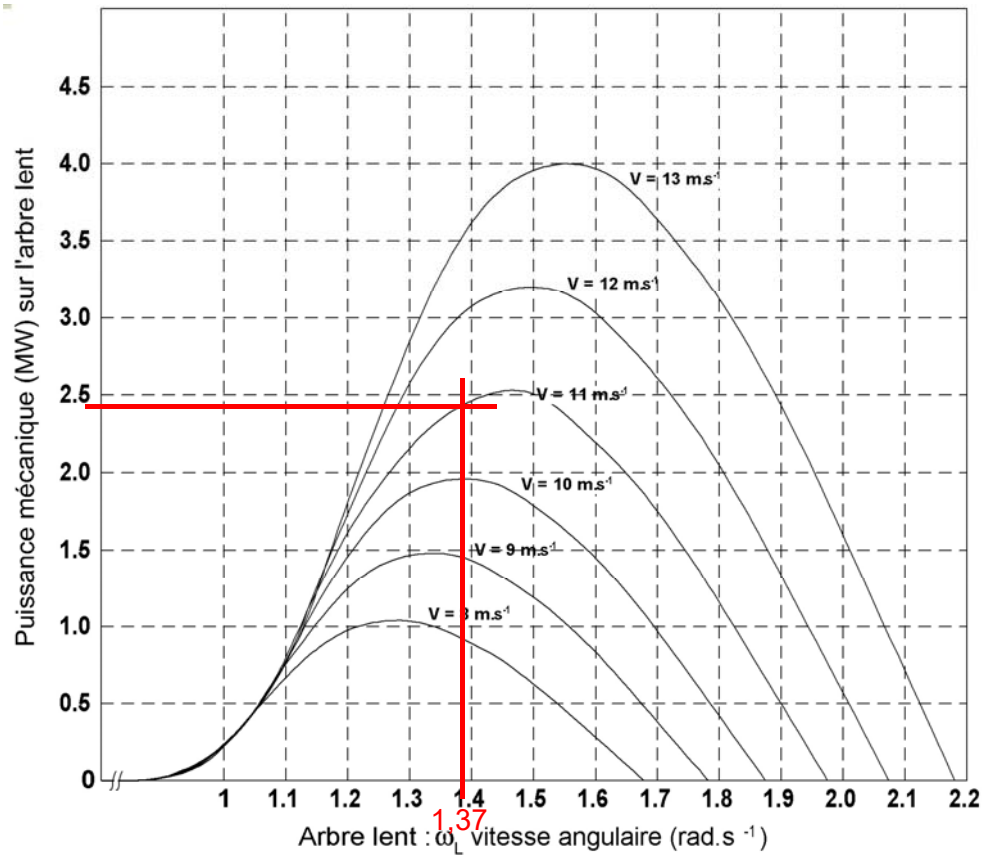
Question A.2 :

Ngen = 1500 tr.min-1 soit $NLent = \frac{Ngen}{m} = \frac{1500}{114,6} = 13,09\ tr.min - 1$

Question A.3

$$\omega lent\ (rad.s - 1) = \frac{2\pi\ x\ Nlent}{60} = 1,37 rad.s - 1$$

2,4 MW



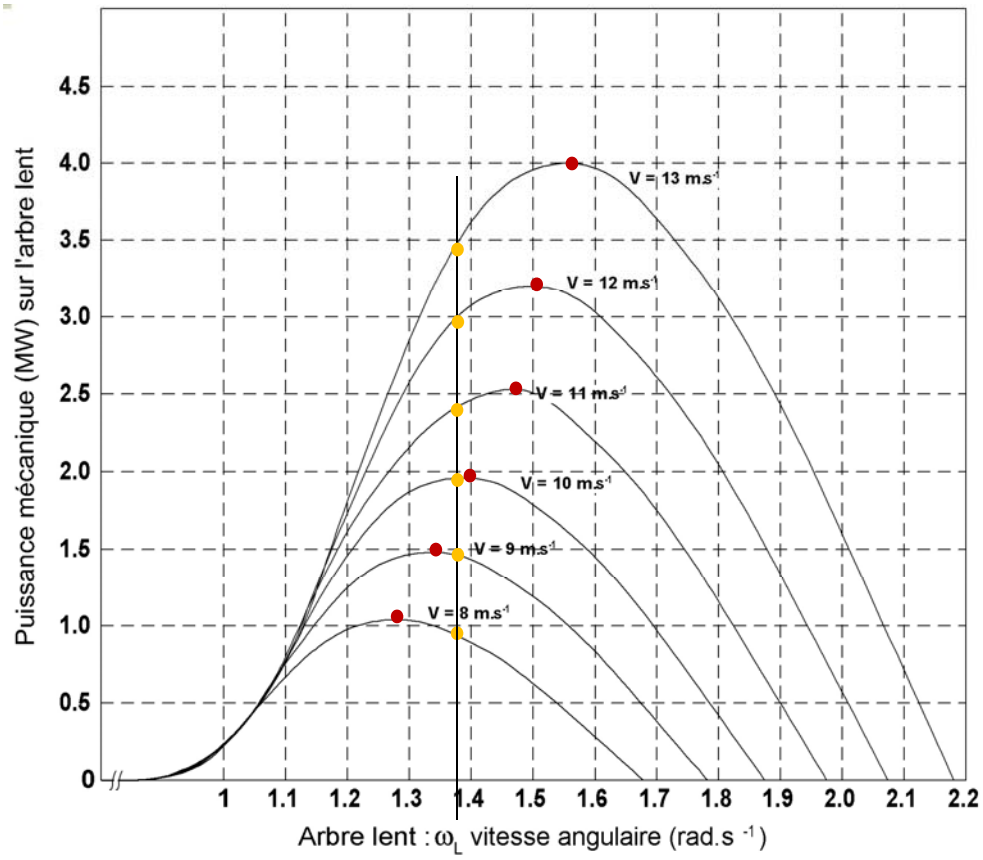
On retrouve bien la puissance annoncée de 2,4 MW.

Question A.4 :

DRS2 : tableau calcul de puissance disponible

Vent V(m/s)	8	9	10	11	12	13
Puissance méca max disponible en MW	**1,10**	**1,50**	**1,9**	**2,50**	**3,30**	**4**

Question A.5 et A.6



Question A.7

Pour la vitesse angulaire $\omega_{L=}$ 1,37rad.s^{-1} , les points de fonctionnement correspondant aux points d'intersection avec les courbes de vitesses de vent sont en dessous des points de fonctionnement à puissance maximale. L'éolienne ne fonctionne pas à sa puissance maximale en permanence. Accepter aussi la réponse puissance maximum pour v=10m/s.

Partie B :

Question B.1

$\theta = \theta g - \theta n = 28° – 15° = 13°$

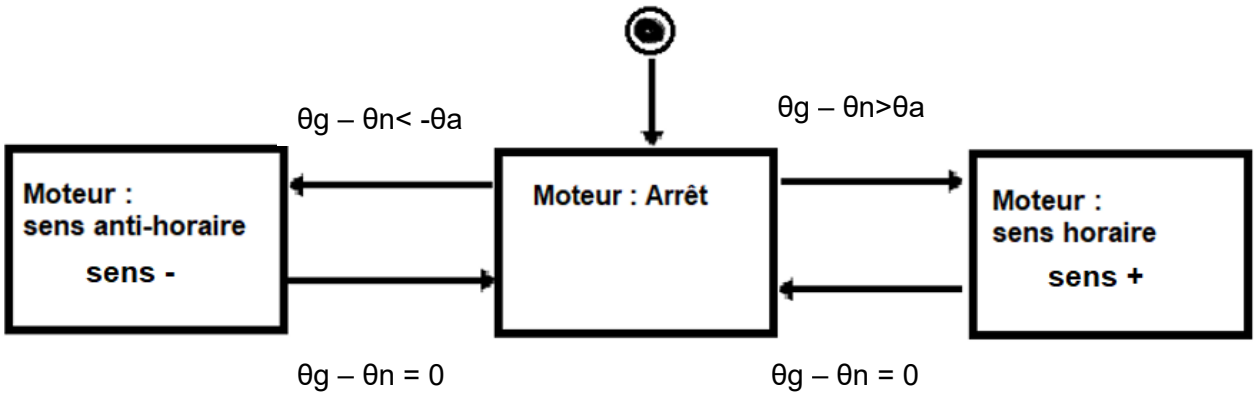
Question B.2

On obtient un écart de 13° entre l'angle de la nacelle et la girouette, il est donc nécessaire de ramener la nacelle face au vent.

Le temps de déplacement de la nacelle est : $\text{vitesse} = \frac{13}{0,5} = 26s$

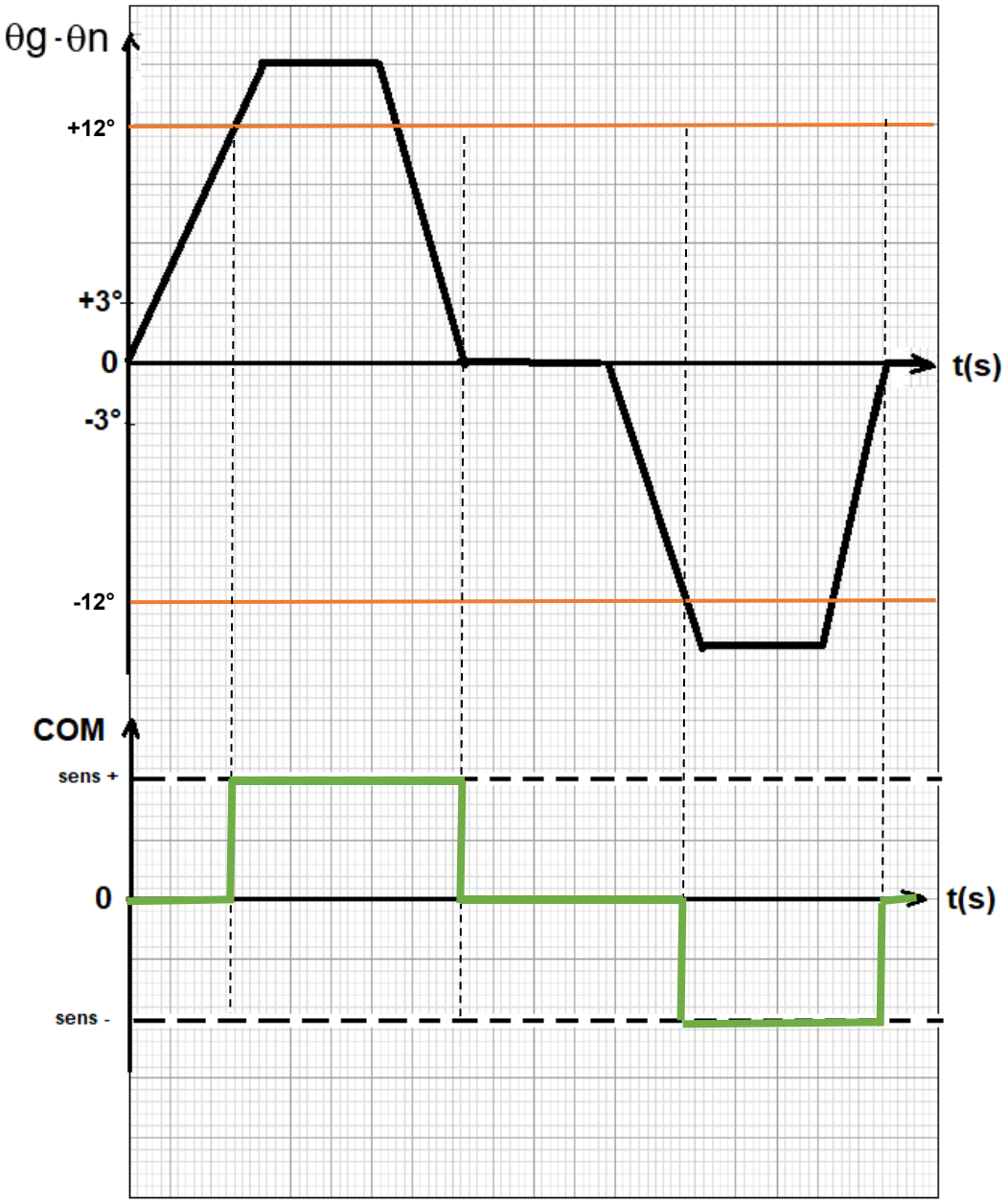
Question B.3

DRS4 : diagramme d'Etat de commande du sens de rotation moteur



Question B.4, B.5

DRS5 : courbes d'évolution (Correction)



Question B.6

Le système d'asservissement de la position de la nacelle permet de la placer dans la même direction que celle du vent avec une erreur de ±12°. Cet écart permet d'éviter des commandes trop répétitives de la nacelle.

PARTIE C :

Question C.1

P = 60.f/Ns = 60x50/1500 = 2 paires de pôle donc le nombre de pôle est de 4.

Question C.2

$\Delta NR = 60 \cdot \Delta f/p = \pm 30$ tr/min

Question C.3

$\Delta NL = \Delta NR/m = \pm 30/113,6 = \pm 0,26$ tr/min

Question C.4

Le capteur de vitesse a une précision de 0,1 tr/min. Il permet de détecter un écart inférieur à 0,26 tr/min. Le couplage sera réalisé dans de bonnes conditions.