

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

Épreuve du mercredi 18 juin 2025

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Aucun document autorisé.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 27 pages numérotées de 1/27 à 27/27.

Constitution du sujet :

| | |
|--|-----------|
| Partie commune (durée indicative 2h30) | 12 points |
| Partie spécifique (durée indicative 1h30) | 8 points |

Le candidat traite la partie commune et la partie spécifique en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses, même vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE commune (2,5h) 12 points

Projet de ferme éolienne



- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 2 à 8
- Documents techniques DT1 à DT4 pages 9 à 11
- Documents réponses DR1 à DR8..... pages 12 à 16

Mise en situation

Le plan climat a été lancé le 6 juillet 2017 pour accélérer la transition énergétique et climatique. Les enjeux climatiques sont en effet la pierre angulaire de la solidarité universelle. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixe l'objectif d'atteindre 40% d'énergie renouvelable dans le mix électrique français d'ici 2030. La filière éolienne terrestre doit apporter une contribution décisive à l'atteinte de cet objectif. La programmation pluriannuelle de l'énergie actuelle qui fixe les objectifs de développement des énergies renouvelables, prévoit entre 21 800 MW et 26 000 MW de capacité éolienne terrestre installée en 2025. Ce sujet porte sur l'étude d'implantation d'une ferme éolienne d'une puissance totale de 12 MW.

Travail demandé

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

L'énergie éolienne présente de multiples atouts vis-à-vis de l'environnement. Néanmoins, elle peut apporter certaines nuisances qu'il faut veiller à réduire, voire supprimer. L'étude d'impact a pour objectif de situer le projet au regard des préoccupations environnementales. Son contenu doit être en rapport avec l'importance des aménagements projetés et leurs incidences prévisibles sur l'environnement.

La réglementation impose le respect d'une distance minimale de 500 m entre une éolienne et les habitations.

Question 1.1
DR1

Tracer sur le schéma d'implantation la distance minimale imposée à chaque éolienne pour les projets 1 et 2.

Justifier que la réglementation est bien respectée.

Question 1.2
DT1
DR2

À partir du bilan des critères d'impact, **compléter** les tableaux d'analyse des deux projets d'implantation en indiquant une pondération de +1 pour un critère d'impact favorable ou de -1 pour un critère d'impact défavorable.

Calculer les totaux.

Question 1.3

À partir des questions précédentes, **conclure** et **justifier** le choix du projet d'implantation 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 ?

La solution envisagée est une ferme de cinq éoliennes identiques d'une puissance nominale de 2,4 MW chacune.

Le facteur de charge (f_c) ou facteur d'utilisation d'une centrale électrique est le rapport entre l'énergie électrique effectivement produite sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produite si elle avait fonctionné à sa puissance nominale durant la même période.

$$f_c = \frac{\text{Énergie produite}}{\text{Énergie nominale}}$$

Question 2.1 | **Calculer** l'énergie électrique produite en MW·h par l'ensemble des cinq éoliennes sur une année en prenant en compte la notion de facteur de charge.
DT2

Selon l'agence de la transition écologique, la consommation moyenne annuelle d'électricité est de 3 200 kW·h par foyer français (hors production d'eau chaude sanitaire et chauffage).

Question 2.2 | **Calculer** le nombre de foyers auxquels les éoliennes peuvent subvenir en électricité (hors production d'eau chaude sanitaire et chauffage).

On compte 7 000 foyers dans les communes environnantes.

Question 2.3 | **Justifier** l'intérêt de ce projet au regard des enjeux climatiques.

Partie 3 : ce projet est-il économiquement viable ?

L'installation d'une éolienne représente un investissement important et occasionne une maintenance régulière. La vente de l'énergie électrique à EDF ENR permet le financement de ce projet.

La production moyenne de la ferme est estimée à 25 000 MW·h par an.

La puissance totale installée est de 12 MW.

Les résultats seront exprimés en kilo euros (1 kilo euro = 1 k€ = 1 000 €).

- Question 3.1 | **Compléter** le tableau des dépenses et recettes sur une année pour les cinq éoliennes.
DT3
DR3
- Question 3.2 | **Représenter** sur le graphique de viabilité financière les dépenses et les recettes en respectant la légende donnée.
DT3
DR4
- Question 3.3 | **En déduire** le nombre d'années nécessaire pour que l'installation devienne rentable.
DT3
Conclure sur la validité financière d'un tel projet.

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

- Question 4.1 | **Préciser** les différentes formes d'énergie dans les étiquettes en traits pleins en sortie de chaque élément du diagramme des blocs internes (ibd), en choisissant parmi les six formes d'énergie suivantes : chimique, nucléaire, mécanique, thermique, rayonnante et électrique.
DR5
- Question 4.2 | **Qualifier** la nature de l'énergie aux étiquettes des points A et B du diagramme des blocs internes (ibd), en choisissant parmi les quatre propositions : primaire, secondaire, finale et utile.
DR5
- Question 4.3 | **Tracer** en rouge le flux d'énergie principal en partant du vent vers le réseau électrique.
DR5
Tracer en vert les flux d'information.

La vitesse moyenne du vent sur le site de la ferme éolienne est estimée à $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ tout au long d'une année.

- Question 4.4 | **Placer** ce point de fonctionnement sur la courbe de puissance.
DR6
En déduire la puissance disponible fournie par le vent P_v (en kW).

Question 4.5 | **Compléter** la chaîne de puissance en précisant le rendement de chaque bloc dans les cases grisées.
DT4
DR5

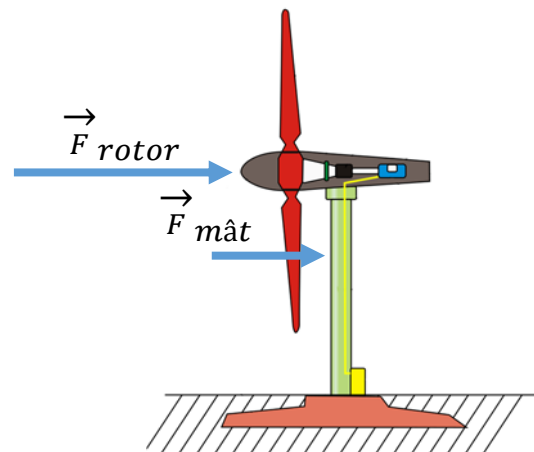
Question 4.6 | **Calculer** le rendement global η pour une éolienne.
En déduire l'énergie produite sur une année en prenant la puissance moyenne fournie par le vent égale à 1 MW pour une éolienne.

Le bureau d'études estime à 25 000 MW·h l'énergie électrique produite par la ferme éolienne pour une année.

Question 4.7 | **Conclure** sur l'estimation du bureau d'études pour le parc de cinq éoliennes.

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

Le mât est soumis à des efforts aérodynamiques horizontaux.



Dans cette partie, nous étudions uniquement la résistance du mât au vent.

Une simulation a été réalisée et les résultats des sollicitations sont donnés sur le DR7.

Question 5.1 | **Indiquer** à quelle sollicitation est soumis le mât face au vent, en choisissant parmi les propositions suivantes : torsion, traction, flexion, compression et cisaillement.

Question 5.2 | Sur la simulation du mât isolé (à gauche), **entourer** la zone de 1 à 6 la plus sollicitée du mât.
DR7

- La limite élastique du matériau utilisé est $R_e = 6,204 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$;
- la contrainte maximale relevée dans le mât est $\sigma_{\max} = 7,056 \cdot 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.

Question 5.3 | **Calculer** le coefficient de sécurité s en appliquant la formule $s = \frac{R_e}{\sigma_{\max}}$.

On considère qu'un coefficient de sécurité $s = 3$ est suffisant.

Question 5.4 | **Préciser**, en justifiant, si le mât est correctement dimensionné pour résister aux efforts qu'il subit.

Question 5.5 | **Proposer** deux pistes d'amélioration permettant d'optimiser la conception du mât, en ne considérant que la sollicitation étudiée dans cette partie.

Deux solutions peuvent être envisagées pour la réalisation du mât :

- solution 1 : une forme cylindrique creuse dont le volume total de matière est $V_{\text{cylindrique}} = 34,7 \text{ m}^3$;
- solution 2 : une forme conique creuse dont le volume total de matière est $V_{\text{conique}} = 27,78 \text{ m}^3$.

Dans les deux cas, le matériau utilisé est l'acier.

Question 5.6 | **Calculer** en pourcentage le volume d'acier gagné par la solution conique par rapport à la solution cylindrique.

Indiquer quels sont les piliers du développement durable les plus concernés par ce gain en justifiant la réponse.

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

L'exploitant du parc éolien désire surveiller le fonctionnement des éoliennes en contrôlant certaines informations (ex : production électrique, température de la nacelle, vitesse des pales, ...). Ce contrôle est effectué à distance afin de regrouper la surveillance de plusieurs parcs éoliens en un même lieu. L'exploitant surveille vingt sites de cinq éoliennes.

Le document DR8 propose une vision partielle du réseau d'un site.

Question 6.1 | **Proposer** pour chaque éolienne une adresse IP du réseau local.

DR8

Question 6.2 | **Indiquer**, en justifiant, le nombre d'adresses encore disponibles pour étendre le parc éolien.

Un analyseur de trame récupère les valeurs des octets correspondant aux différentes données transmises. Pour la donnée « fréquence de rotation des pales », la valeur de l'octet transmis est (en binaire) $N = (01101001)_2$.

Question 6.3 | **Calculer** la valeur de cet octet en décimal.

Déterminer la fréquence de rotation des pales en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ sachant que la valeur décimale de l'octet représente 10 fois la valeur réelle.

La fréquence de rotation maximale des pales fixée par le constructeur est de $13,2 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$. La précision de mesure de vitesse nécessaire au fonctionnement de l'éolienne est de $0,1 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question 6.4 | **Conclure** sur la possibilité de surveiller tous les parcs éoliens et de mesurer la vitesse de rotation des pales.

DT1 : bilan des critères d'impacts

| Projet | Description de l'implantation | Milieu naturel | Milieu humain | Paysage |
|------------------|-------------------------------|--|---|---|
| Implantation N°1 | 6 éoliennes | <p>C1.1 : 6 éoliennes en lignes induisant un effet barrière supérieur qui augmente le risque de collision avec l'avifaune* (notamment en période de migration) largeur du parc 1600 m.</p> <p>C1.2 : aucune éolienne localisée dans des zones à enjeu écologique : zone naturelle remarquable, habitats européens, zones humides.</p> <p>C1.3 : emprise au sol supérieure par rapport au projet d'implantation N°2 (une éolienne supplémentaire).</p> <p>C1.4 : deux éoliennes (E5 et E6) plus à l'Est, proches de la zone humide associée au cours d'eau de la Mâtre, des lisières boisées et des habitations.</p> | <p>C1.5 : projet éolien avec une emprise limitée compatible avec les pratiques agricoles (exploite au maximum les chemins existants).</p> | <p>C1.6 : implantation des éoliennes sur une ligne Est-Ouest générant un impact visuel accru depuis les habitations de la commune au Sud-Est.</p> <p>C1.7 : implantation trop proche de la vallée de la Mâtre à l'Est.</p> |
| Implantation N°2 | 5 éoliennes | <p>C2.1 : disposition en ligne de 4 éoliennes avec une éolienne placée plus au Nord, des espaces entre les éoliennes plus importants et une largeur globale plus réduite (1100 m) minimisant l'effet barrière et les risques de collisions avec l'avifaune* (notamment en période de migration).</p> <p>C2.2 : aucune éolienne localisée dans des zones à enjeu écologique : zone naturelle remarquable, habitats européens, zones humides.</p> <p>C2.3 : emprise au sol réduite par rapport au projet d'implantation N°1 (une éolienne en moins).</p> <p>C2.4 : suppression des 2 éoliennes (E5 et E6 du projet d'implantation N°1) proches de la zone humide associée au cours d'eau de la Mâtre et des lisières boisées. L'éolienne E5 est située à plus de 600 m du ruisseau de la Mâtre. Éloignement général par rapport au cours d'eau et aux zones humides supérieur à 400 m.</p> | <p>C2.5 : projet éolien avec une emprise limitée compatible avec les pratiques agricoles (exploite au maximum les chemins existants)</p> | <p>C2.6 : implantation des éoliennes en une ligne moins longue avec une éolienne décalée au Nord limitant l'impact visuel depuis les habitations de la commune au Sud-Est.</p> <p>C2.7 : implantation plus éloignée de la vallée de la Mâtre au Nord.</p> |

(*) Avifaune : ensemble des espèces d'oiseaux dans une région donnée.

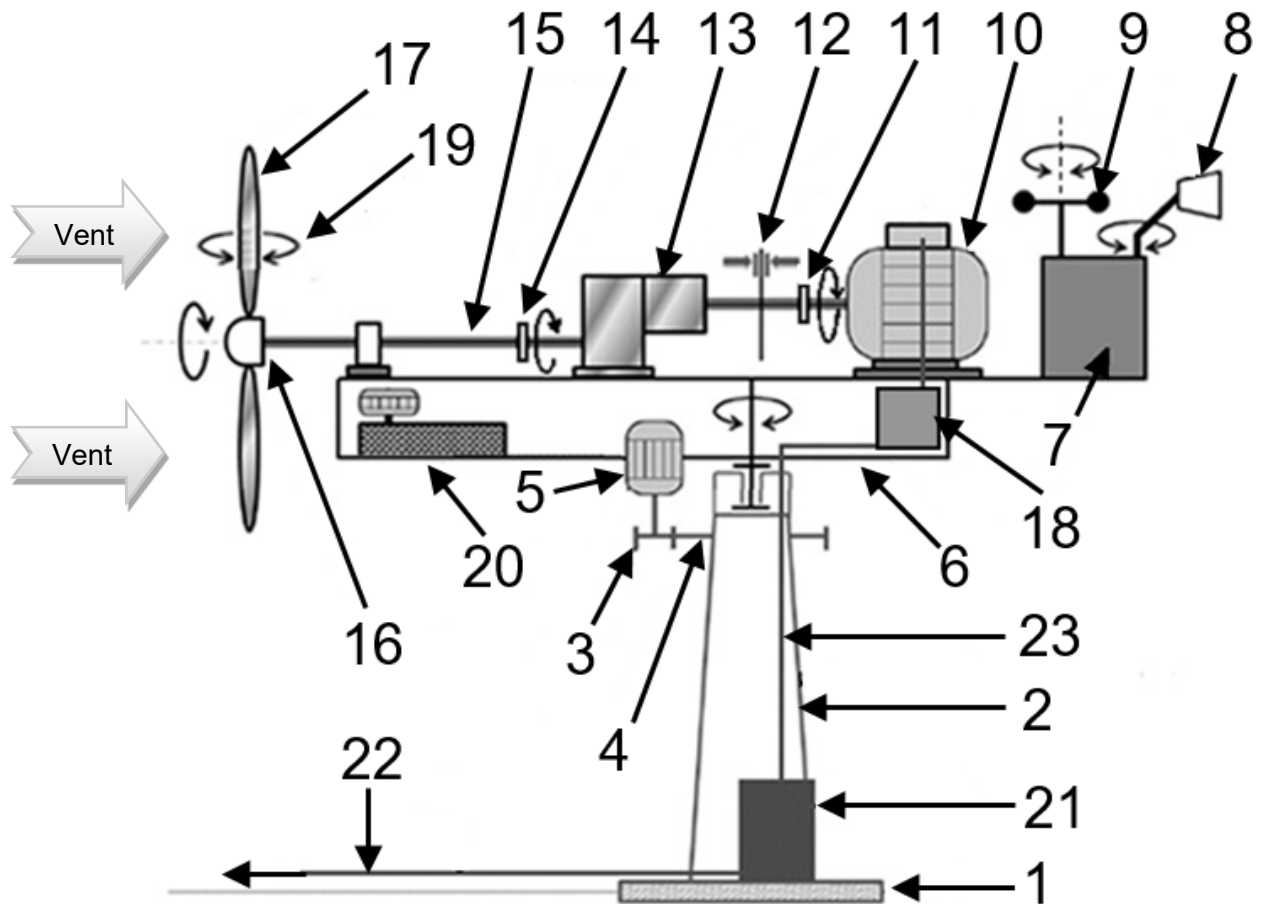
DT2 : facteur de charge (fc) pour la région Auvergne Rhône-Alpes

| Nucléaire | Thermique fossile | Hydraulique | Éolien | Solaire | Bioénergies |
|-----------|-------------------|-------------|--------|---------|-------------|
| 63,1 % | 26,7 % | 27,9 % | 22 % | 13,2 % | 63,3 % |

DT3 : financement d'une éolienne

| | | Remarque |
|--|---------------------------------|---|
| Investissement | 1 500 € TTC par kW installé. | Comprend les coûts d'études, de matériels, de raccordement, d'installation, de mise en service et de démantèlement. |
| Coût d'exploitation, d'entretien et de maintenance | 3 % par an de l'investissement. | |
| Prix d'achat de l'énergie électrique par EDF ENR | 100 € TTC par MW·h. | |
| Durée de vie | 25 ans. | |

DT4: synoptique de l'éolienne



| | Désignation | | Désignation |
|----|--|----|--|
| 1 | Fondation | 13 | Multiplicateur de vitesse (rendement 85%) |
| 2 | Mât | 14 | Accouplement mécanique basse vitesse |
| 3 | Pignon d'entraînement de la nacelle | 15 | Arbre lent |
| 4 | Roue dentée liée au mât | 16 | Moyeu du rotor à 3 pales |
| 5 | Moteur d'orientation de la nacelle | 17 | Pales à orientation variable (rendement 80%) |
| 6 | Nacelle orientable | 18 | Convertisseur (rendement 99%) |
| 7 | Unité centrale de traitement | 19 | Dispositif de calage des pales |
| 8 | Girouette | 20 | Groupe hydraulique |
| 9 | Anémomètre | 21 | Transformateur (rendement 95%) |
| 10 | Génératrice asynchrone (rendement 90%) | 22 | Liaison électrique avec réseau triphasé 20 kV ENEDIS |
| 11 | Accouplement mécanique haute vitesse | 23 | Câble basse tension triphasé 690 V~ |
| 12 | Frein à disque | | |

DR1 : implantation des éoliennes

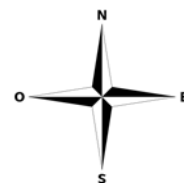
Légende utile

■ ■ : habitations

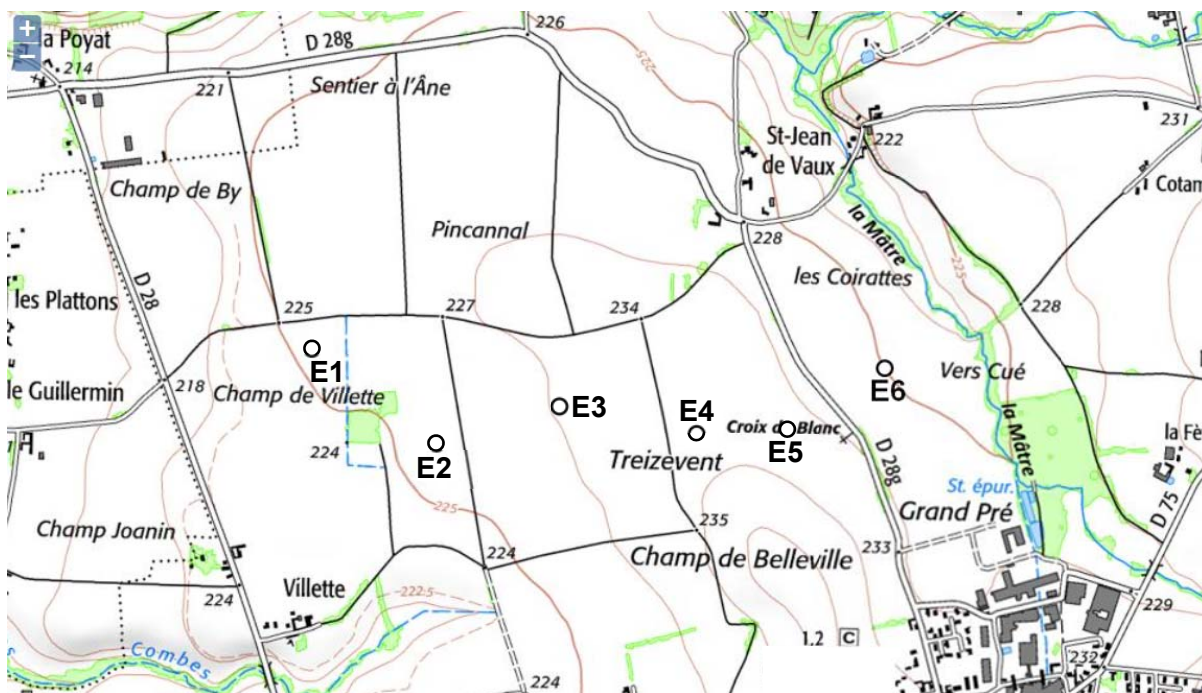
○ : éolienne

Échelle des plans

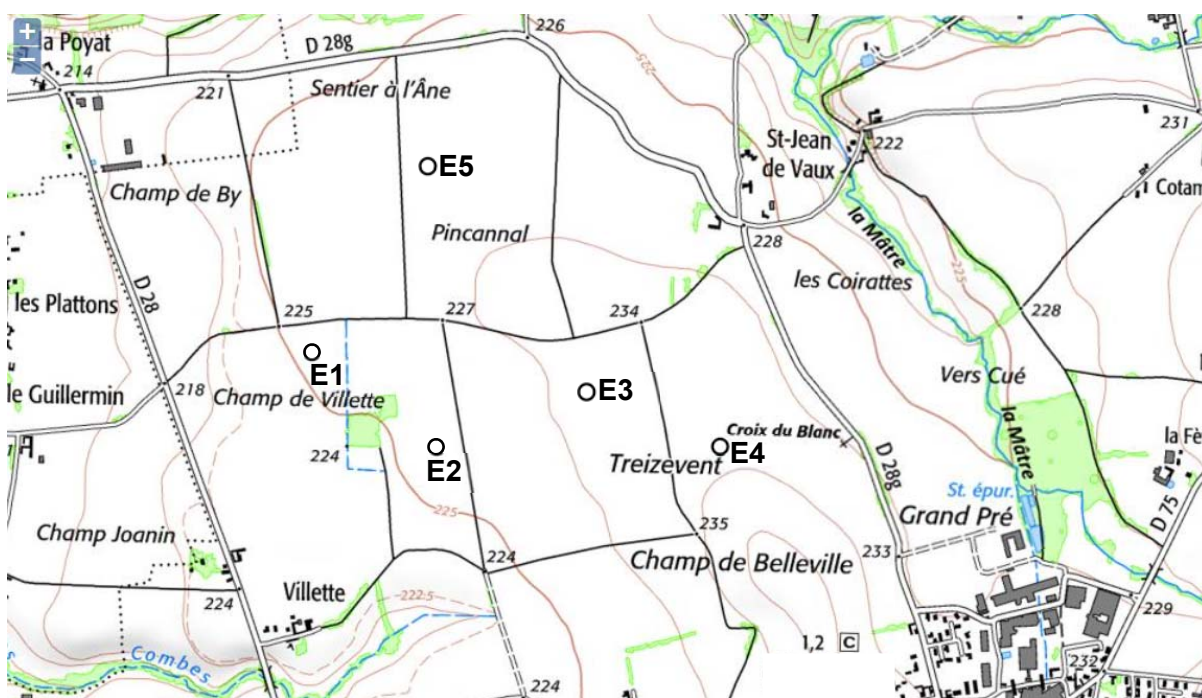
200m



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

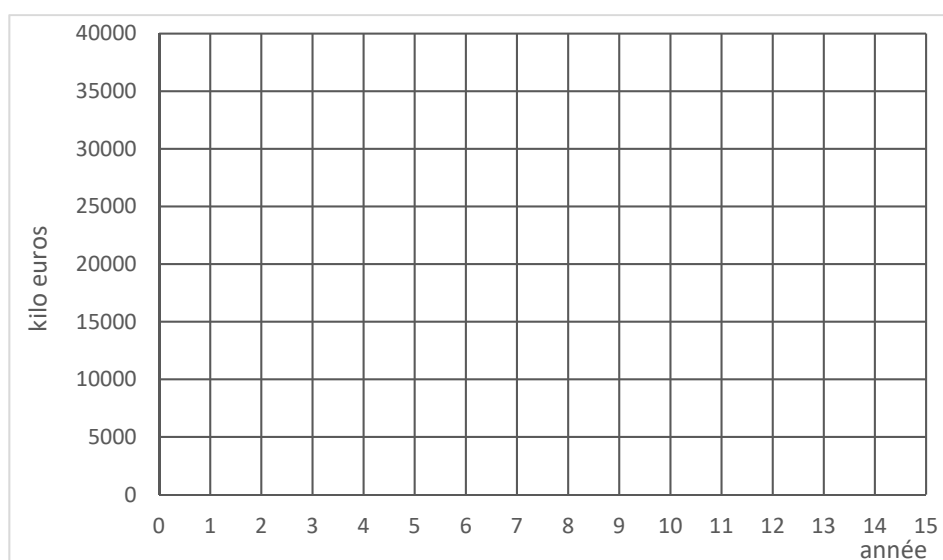
| Critères Projet N°1 | C1.1 | C1.2 | C1.3 | C1.4 | C1.5 | C1.6 | C1.7 | Total |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Pondération | | | | | | | | |

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

DR3 : dépenses et recettes des cinq éoliennes

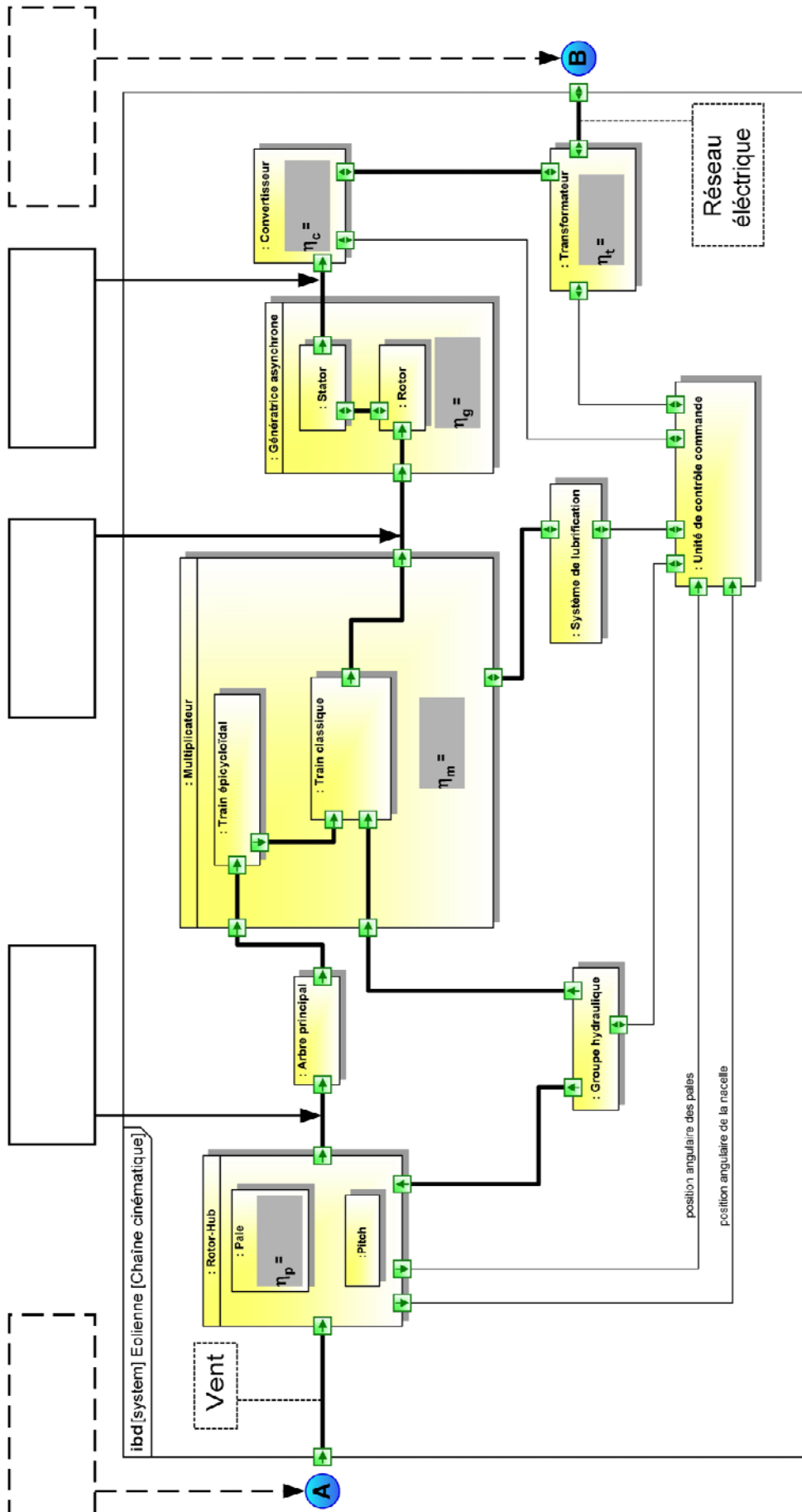
| Pour la ferme de cinq éoliennes sur 1 an | | |
|--|-------------|----------|
| Dépenses | | Recettes |
| Investissement | Maintenance | |
| | | |

DR4 : viabilité financière

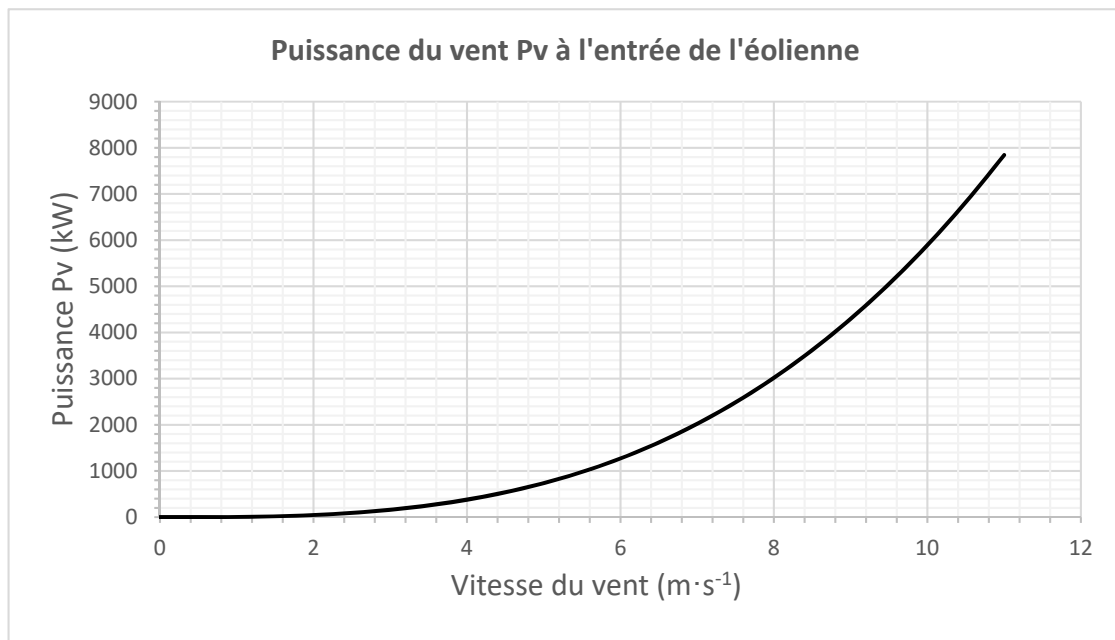


1 k€ = 1 000 €

DR5 : diagramme des blocs internes (ibd)



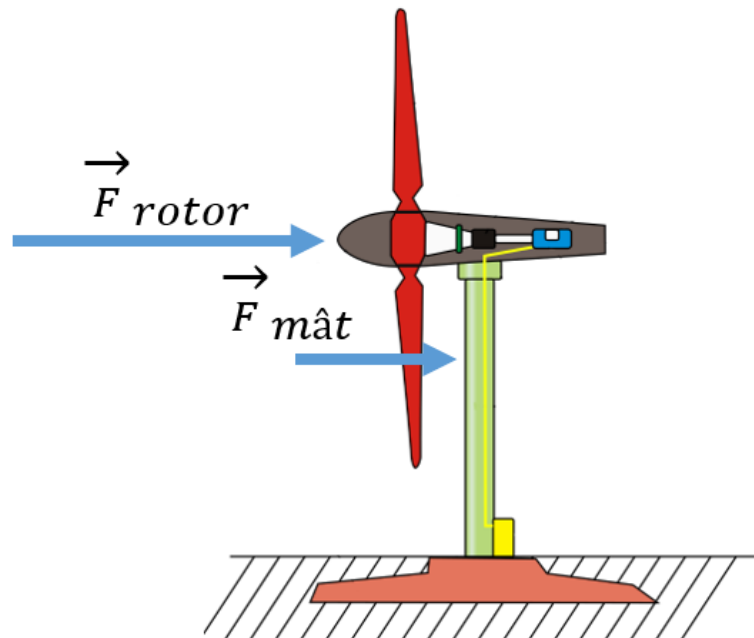
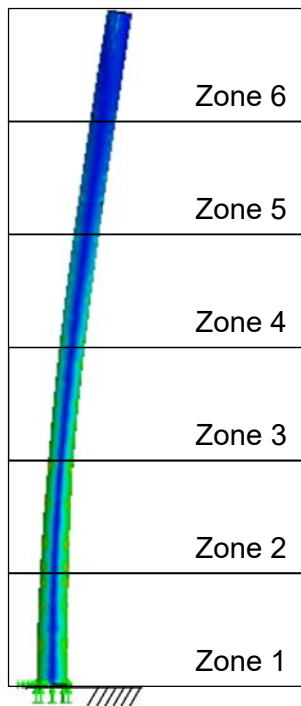
DR6 : courbe de puissance du vent



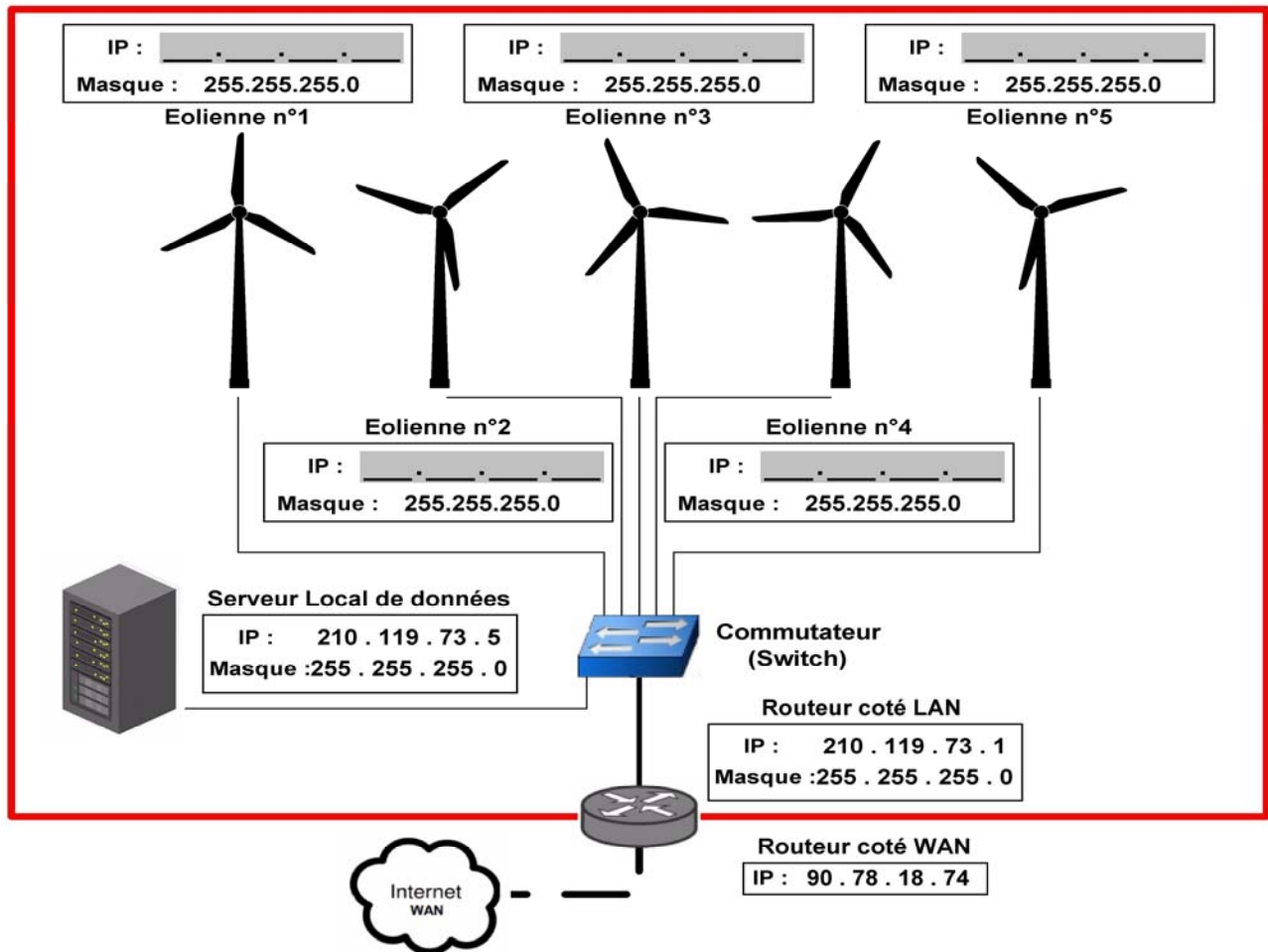
DR7 : résistance du mât seul

Zone la plus sollicitée

Simulation du mât isolé



DR8 : réseau local (LAN) site d'éoliennes



PARTIE SPÉCIFIQUE (1,5h) 8 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Projet de ferme éolienne



- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 17 à 22
- Documents techniques DTS1 à DTS4 pages 23 à 25
- Document réponse DRS1 à DRS2..... pages 26 à 27

Mise en situation

Les cinq éoliennes envisagées dans ce projet sont qualifiées « d'éoliennes géantes ». Leurs dimensions (hauteur de 150 m environ) et leur masse (plusieurs centaines de tonnes) nécessitent une étude approfondie de leurs fondations.

Les efforts vertical \vec{P}_V et horizontal \vec{H} qui s'exercent sur l'éolienne imposent une étude de stabilité de l'ouvrage (voir DTS1).

Seuls deux effets sont étudiés ici pour valider la stabilité de l'éolienne :

- Le poinçonnement (enfouissement dans le sol). Il est dû à l'effort vertical \vec{P}_V agissant sur la structure. Seul le poids propre de la structure est pris en compte ici.
- Le glissement (déplacement horizontal de la structure). Seul l'effort horizontal \vec{H} agissant sur la structure est pris en compte ici.

Le phénomène de basculement n'est pas abordé.

Travail demandé

Partie A : la structure est-elle stable sous l'effet du poinçonnement ?

Question A.1 | **Relever** la masse d'une pale m_{pale} , de la nacelle m_{nacelle} et du mât $m_{\text{mât}}$.
DTS1 | **Calculer** la masse totale de l'éolienne $m_{\text{éol}}$ en tonnes.

La fondation est réalisée en béton armé. Sa masse volumique est $\rho = 2\,700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Question A.2 | **Déterminer** en m^3 les volumes V_1 , V_2 et V_3 de la fondation et le volume total de la fondation V_{fond} .
DTS2 | **Calculer**, en kg puis en tonnes, sa masse m_{fond} .

On définit par structure l'ensemble composé de l'éolienne et de sa fondation.

$$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Question A.3 | **Calculer** en kN la charge permanente verticale \vec{P}_V correspondant au poids total de la structure (éolienne + fondation).

Question A.4 | **Citer** deux autres charges verticales non permanentes à prendre en compte réglementairement pour un calcul complet aux états limites (ELS ou ELU).

Quel que soit le résultat trouvé précédemment, $\|\vec{P}_V\| = 15\,000$ kN.

Question A.5 | **Calculer** la surface de contact S de la fondation sur le sol.

DTS2 | En **déduire**, en MPa, la contrainte σ exercée par la structure sur le sol.

La structure repose sur un sol homogène. La contrainte admissible du sol est $\sigma_{adm} = 0,3$ MPa. Le coefficient de sécurité sur la contrainte est au minimum $s = 2$.

Question A.6 | **Calculer** le coefficient de sécurité sur la contrainte et **vérifier** qu'il respecte la valeur minimale pour le dimensionnement des fondations.

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

La structure est dimensionnée de manière à résister à de fortes rafales de vent qui dépendent de la région dans laquelle se situe l'éolienne. Le vent crée sur l'éolienne un effort horizontal (\vec{H}). S'il dépasse une valeur limite, les pales sont mises en drapeau et ne tournent plus.

Une simulation aérodynamique a permis d'évaluer cet effort horizontal agissant sur l'éolienne en fonction de la vitesse du vent (voir DTS4).

Question B.1 | **Relever** la vitesse maximale du vent V_{max} dans la zone du projet d'implantation des éoliennes et la **convertir** en $m \cdot s^{-1}$.

DTS3, DTS4

À l'aide de la simulation aérodynamique, en **déduire** la valeur de l'effort horizontal \vec{H} que subit la structure.

Dans une première approche, pour assurer la stabilité de la structure, la relation de non-glissement suivante doit être respectée :

$$H < \frac{P_{V\text{mini}} \cdot \tan \delta}{\gamma}$$

Avec :

- H : effort horizontal que subit la structure (calculé à la question B.1).
- $P_{V\text{mini}}$: effort vertical minimal. Prendre $P_{V\text{mini}} = 15\,000$ kN.
- δ : angle de frottement entre la fondation et le sol, soit $\delta = 25^\circ$.
- γ : coefficient de sécurité.

Question B.2 | **Vérifier** que la relation de non-glissement est respectée sans tenir compte du coefficient de sécurité.

Calculer le coefficient de sécurité γ arrondi à l'entier inférieur.

Question B.3 | Au vu des études précédentes sur la stabilité au poinçonnement et au glissement, **indiquer** comment la fondation pourrait être optimisée.

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

Au-delà de la pollution visuelle perçue par certains riverains, le bruit engendré par les éoliennes peut avoir un effet néfaste sur la santé.

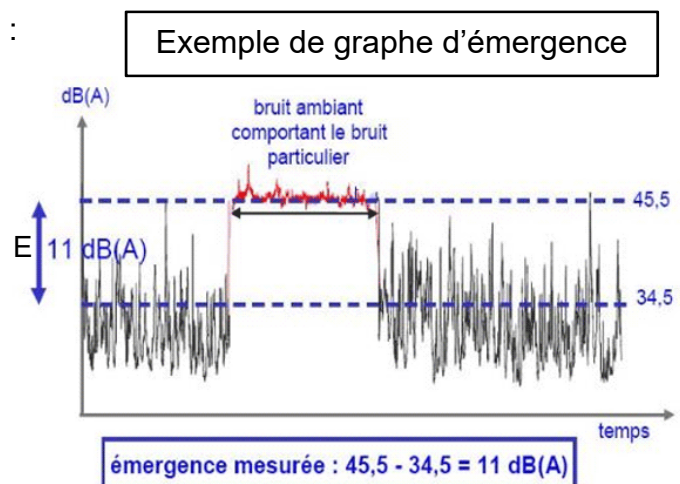
La réglementation est basée, entre autres, sur la notion d'émergence, qui est définie comme étant la différence entre le niveau de bruit ambiant (comportant le bruit avec éoliennes) et le niveau de bruit résiduel (en l'absence du bruit des éoliennes), appelé également bruit de fond.

L'indicateur d'émergence E s'exprime ainsi :

$$E = Leq_{\text{éol}} - Leq_{\text{rés}} \quad \text{dB(A)}$$

$Leq_{\text{éol}}$: niveau de bruit ambiant pendant la période de fonctionnement des éoliennes.

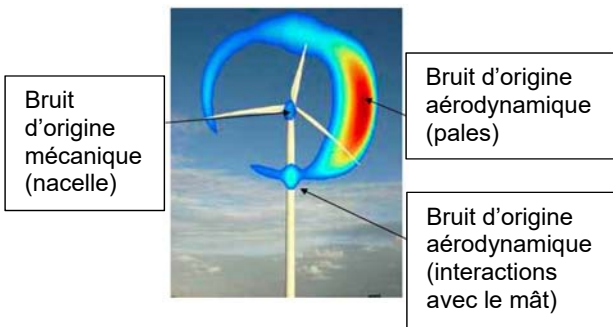
$Leq_{\text{rés}}$: niveau de bruit résiduel (bruit de fond) pendant la période où les éoliennes ne fonctionnent pas.



Dans cette partie, nous allons vérifier si la réglementation sur le phénomène de l'émergence est respectée.




La source du bruit d'une éolienne se situe au sommet du mât, donc suffisamment éloignée du sol pour considérer que l'onde sonore ne rencontre aucun obstacle quelle que soit la direction.

Question C.1 | **Calculer** la distance (D) entre la source du bruit d'une éolienne et un point situé à 500 m du pied d'une éolienne.
 DTS1
 DRS1

| | |
|---|---|
| <p>Le niveau de puissance acoustique totale d'une éolienne est $L_w = 102 \text{ dB(A)}$.</p> <p><i>Rappel : le niveau de puissance acoustique traduit la puissance acoustique nécessaire au niveau de la source sonore pour générer des ondes sonores.</i></p> |  |
|---|---|

Le niveau sonore du bruit L_p (dB(A)) dépend du niveau de puissance L_w (dB(A)), de la distance de la source d (m) et du facteur de directivité Q (sans unité) de la source du bruit. On donne la relation de propagation du bruit en champ libre :

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

| Facteur de directivité de l'onde sonore (Q) | |
|---|---|
|  | Q = 1, onde omnidirectionnelle |
|  | Q = 2, onde omnidirectionnelle sur le sol |
|  | Q = 4, onde omnidirectionnelle sur le sol contre un obstacle vertical |

Question C.2 | **Calculer** le niveau sonore L_p à une distance (d) de 4 m. **Exprimer** la valeur entière arrondie au plus près.

En champ libre, le niveau sonore diminue de 6 dB(A) chaque fois que la distance entre la source sonore et le point considéré est doublée (voir DRS1)

Question C.3 | **Compléter** les niveaux acoustiques pour les distances comprises entre 1 m et 516 m. **Vérifier** qu'aucune habitation ne subira un niveau sonore dû aux éoliennes supérieur à 45 dB(A).
 DRS1

Les valeurs calculées précédemment ont permis de valider la phase d'avant-projet, précédant la construction de la ferme éolienne. La réglementation impose de faire des mesures après l'implantations des générateurs.

Le bruit résiduel a été relevé avant l'implantation et le bruit ambiant (avec le fonctionnement des éoliennes) a été mesuré au niveau des habitations les plus proches. Les niveaux sonores dépendent, entre autres, de la vitesse du vent.

Les habitations sont dans une Zone à Émergence Réglementée (ZER). La réglementation impose que dans une ZER, l'émergence globale à ne pas dépasser de jour et de nuit est de :

- 5 dB(A) pour la période 7h – 22h (période diurne)
- 3 dB(A) pour la période 22h – 7h (période nocturne)

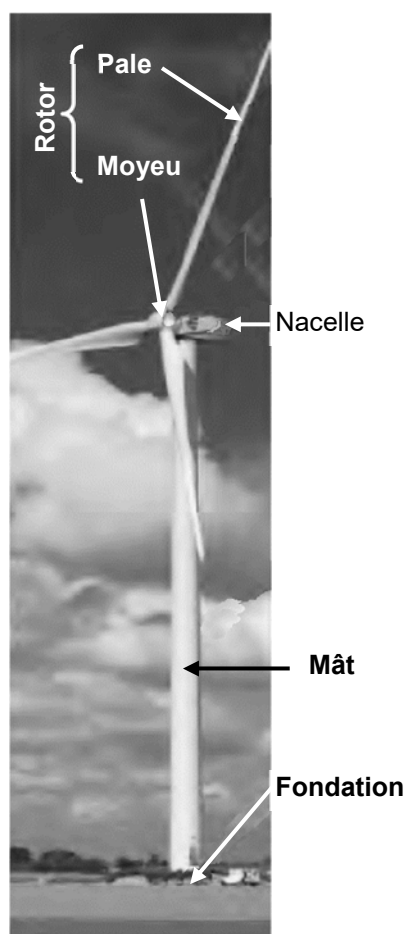
Question C.4 | **Compléter** les tableaux en calculant l'émergence manquante pour les périodes diurne (jour) et nocturne (nuit).
DRS2

Question C.5 | **Conclure** sur le respect de la réglementation sur le bruit.

Pour rappel, deux projets étaient à l'étude avant la création. Sur un des deux projets, la réglementation sur le bruit n'était pas respectée.

Question C.6 | **Proposer** une solution pouvant être mise en œuvre pour ne pas dépasser les limites règlementaires du phénomène d'émergence pour le projet non-conforme.

DTS1 : caractéristiques de l'éolienne N117 – 2,4 MW



| CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES | MODÈLE N117 – 2,4 MW |
|--|---|
| ROTOR | |
| Diamètre global | 116,8 m |
| Nombre de pales | 3 |
| Fréquence de rotation | 7,5 – 13,2 tr·min ⁻¹ |
| Freins | Mise en drapeau des pales par dispositif hydraulique et frein d'arrêt à disque supplémentaire au niveau du rotor. |
| Surface balayée | 10 715 m ² |
| NACELLE | |
| Masse de la nacelle | 72 tonnes |
| PALES | |
| Matériau | Résine renforcée en fibre de carbone et fibre de verre. |
| Longueur | 57,3 m |
| Masse d'une pale | 8,3 tonnes |
| MÂT | |
| Type | Conique creux (accès à la nacelle par escaliers intérieurs), segment tubulaire en acier. Fondation en béton. |
| Hauteur de mât seul | 89 m |
| Masse du mât | 210 tonnes |
| GÉNÉRATRICE | |
| Type | Asynchrone à double alimentation. |
| Puissance nominale | 2,4 MW |
| Fréquence | 50 à 60 Hz |
| DONNÉES OPÉRATIONNELLES | |
| Hauteur totale de l'éolienne en bout de pale | 149,4 m |
| Vitesse de vent de démarrage | 3 m·s ⁻¹ |
| Vitesse de vent nominale | 11 m·s ⁻¹ |
| Vitesse de vent de coupure | 20 m·s ⁻¹ |

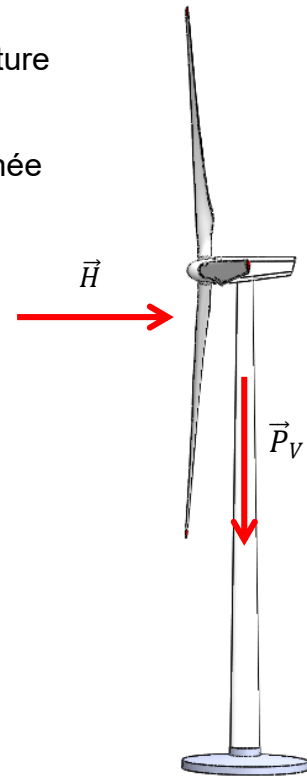
Rappel : 1 tonne = 1 000 kg

DTS2 : efforts horizontaux et verticaux

Efforts verticaux et horizontaux agissant sur l'éolienne.

\vec{P}_V : les efforts verticaux correspondent au poids de toute la structure (éolienne + fondation)

\vec{H} : les efforts horizontaux proviennent du vent sur l'éolienne (trainée aérodynamique)

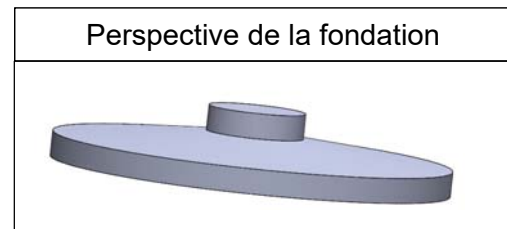
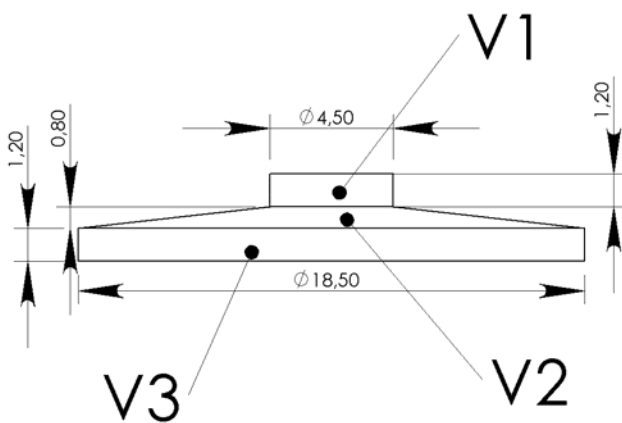


Dimensions de la fondation (en mètre)

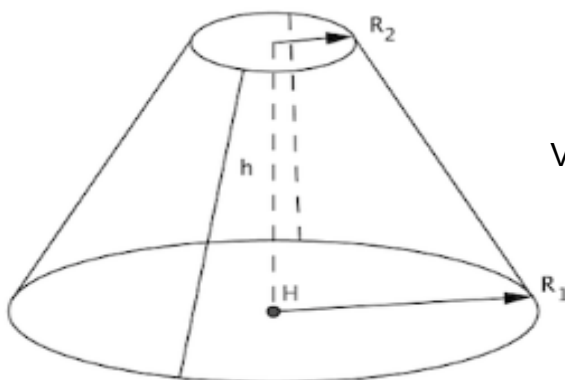
Les volumes V1 et V3 sont des cylindres.

Le volume V2 est un cône tronqué.

Ci-dessous : fondation vue de côté



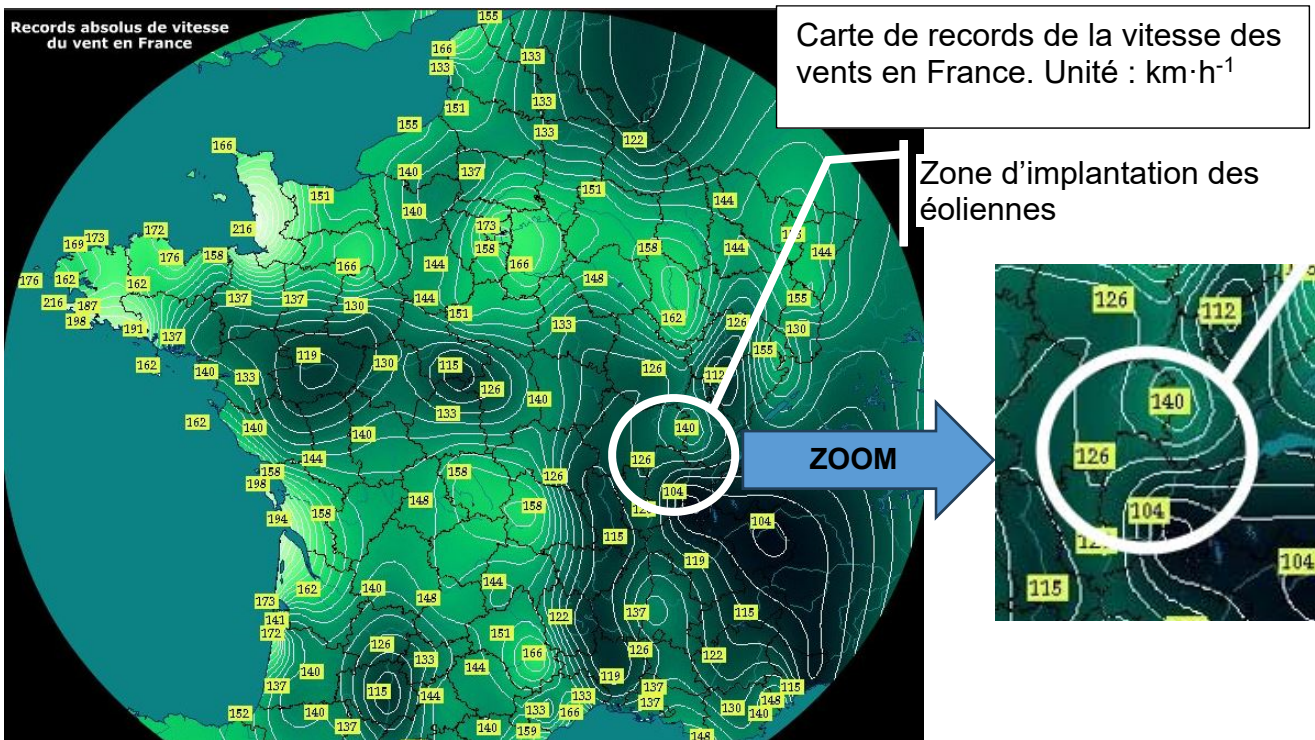
Volume d'un cône tronqué : V



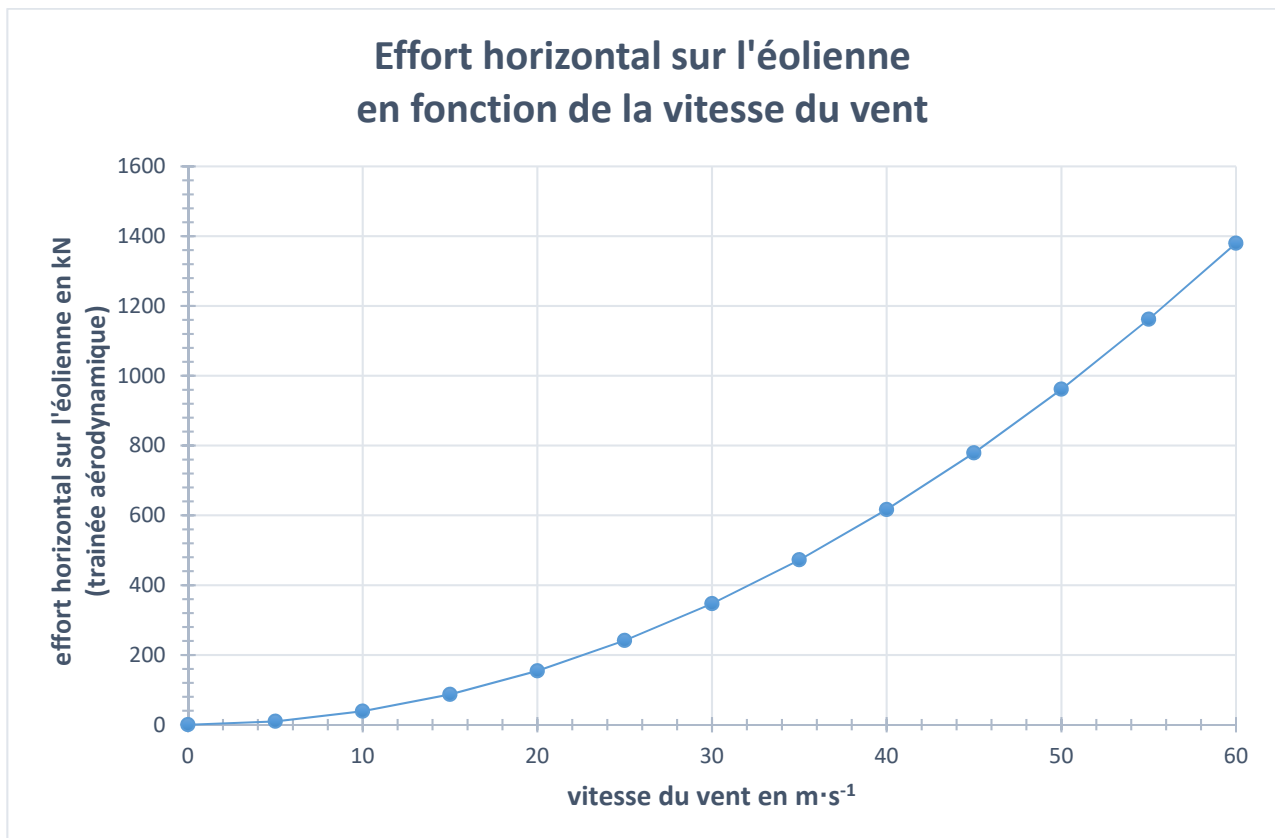
$$V = \frac{\pi \cdot h}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1 \cdot R_2)$$

Volume V d'un cylindre de diamètre D et de hauteur H : $V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H$

DTS3 : vents violents en France

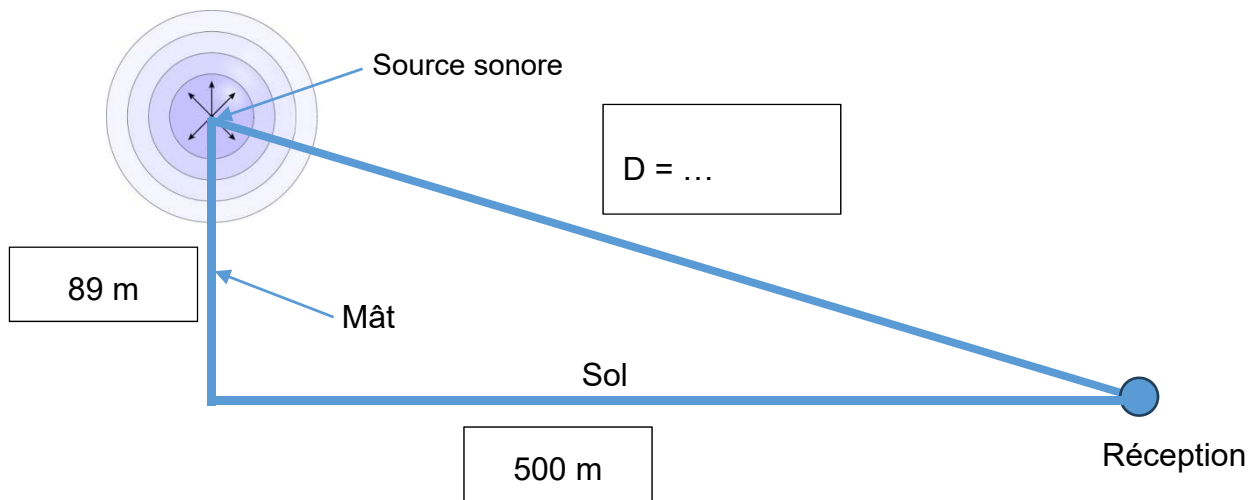


DTS4 : effort horizontal sur l'éolienne (simulation aérodynamique)



DRS1 : distance - niveaux acoustiques

Question C.1



Question C.3

| Distance entre la source sonore et le point considéré en mètre | Niveau acoustique en dB(A) |
|--|----------------------------|
| 1 | 91 |
| 2 | ... |
| 4 | ... |
| 8 | ... |
| 16 | ... |
| 32 | 61 |
| 64 | 55 |
| 128 | ... |
| 256 | 43 |
| 516 | ... |

DRS2 : émergence

Question C.4

| 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 |
| | Émergence | 0,9 | | Émergence | ... |
| 5 m·s ⁻¹ | Bruit résiduel | 44,5 | 5 m·s ⁻¹ | Bruit résiduel | 41,7 |
| | Bruit ambiant | 46,8 | | Bruit ambiant | 43,5 |
| | Émergence | ... | | Émergence | 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 |
| | Émergence | ... | | Émergence | ... |
| 9 m·s ⁻¹ | Bruit résiduel | 51,4 | 9 m·s ⁻¹ | Bruit résiduel | 47,1 |
| | Bruit ambiant | 52,2 | | Bruit ambiant | 47,6 |
| | Émergence | 0,8 | | Émergence | 0,5 |

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

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

Épreuve du mercredi 18 juin 2025

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Aucun document autorisé.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 25 pages numérotées de 1/25 à 25/25.

Constitution du sujet :

| | |
|--|-----------|
| Partie commune (durée indicative 2h30) | 12 points |
| Partie spécifique (durée indicative 1h30) | 8 points |

Le candidat traite la partie commune et la partie spécifique en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses, même vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE SPÉCIFIQUE (1,5h) 40 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Projet de ferme éolienne

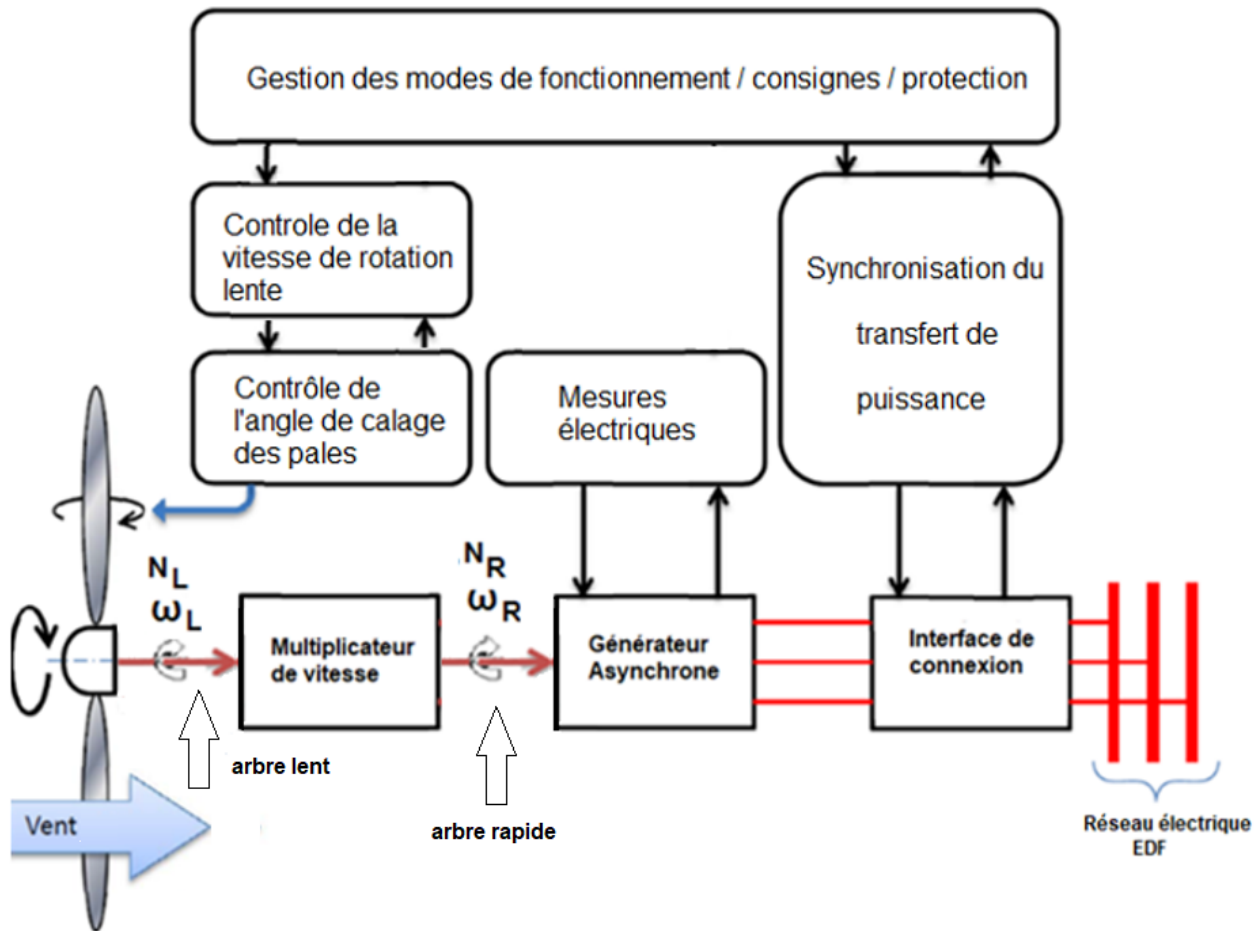


- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 17 à 21
- Documents techniques DTS1 à DTS2 page 22
- Documents réponse DRS1 à DRS5..... pages 23 à 25

Mise en situation :

La ferme éolienne est composée de cinq éoliennes de puissance 2,4 MW chacune pour une puissance totale de 12 MW. La constitution de l'éolienne est présentée dans le document technique DTS1.

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



Notation :

- Sur l'arbre lent (entrée multiplicateur de vitesse) : la vitesse de rotation est notée N_L ($\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$) et la vitesse angulaire ω_L ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Sur l'arbre rapide (sortie multiplicateur de vitesse) : la vitesse de rotation est notée N_R ($\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$) et la vitesse angulaire ω_R ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).

Travail demandé

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

La puissance nominale de l'éolienne (2,4 MW) est obtenue pour une vitesse de rotation de l'arbre rapide $N_R = 1\,500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et une vitesse de vent $V = 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question A.1 | **Préciser** le paramètre qui permet de tracer les différentes courbes du document réponse DRS1.

DRS1

L'étage d'adaptation de la vitesse de rotation est un multiplicateur de vitesse dont le facteur de multiplication est égal à $m = 114,6$.

Question A.2 | **Calculer** la vitesse nominale de rotation de l'arbre lent N_L en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ à l'entrée du multiplicateur pour la puissance nominale de l'éolienne.

Question A.3 | **Calculer** la vitesse angulaire nominale ω_L de l'arbre lent exprimée en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. **Placer** le point de fonctionnement sur le document réponse DRS1 et **vérifier** la puissance obtenue pour une vitesse de vent $V = 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

DRS1

Question A.4 | **Compléter** le tableau du document DRS2 en reportant pour chaque vitesse de vent, la puissance maximale disponible sur l'arbre lent (entrée du multiplicateur de vitesse).

DRS2

Question A.5 | Sur le réseau de courbe du document réponse DRS3, **tracer** les points à la puissance maximale pour chaque vitesse de vent.

DRS3

La vitesse de rotation de l'éolienne est imposée par la fréquence du réseau EDF et correspond à une vitesse angulaire $\omega_L = 1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question A.6 | **Positionner** les points de fonctionnement sur le réseau de courbes pour une vitesse angulaire maintenue constante et égale à $\omega_L = 1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

DRS3

Question A.7 | **Comparer** les points de fonctionnement pour $\omega_L = 1,37 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ aux points correspondant à la puissance maximale sur le réseau de courbes et **conclure** en argumentant votre réponse.

DRS3

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

Pour optimiser la production de l'éolienne, celle-ci doit être orientée en permanence face au vent. Une mesure de la direction du vent est effectuée à l'aide d'une girouette située à l'arrière de la nacelle. Le but de cette étude est d'analyser le dispositif d'asservissement afin d'orienter la nacelle face au vent.

Le document DTS2 présente la structure de l'asservissement de la position angulaire $\theta_n(^{\circ})$ de la nacelle à la position angulaire $\theta_g(^{\circ})$ de la girouette.

L'écart d'angle admissible est $\theta_a = \pm 12^{\circ}$, la vitesse de rotation de la nacelle est de $0,5^{\circ} \cdot s^{-1}$.

Pour réaligner la nacelle dans la direction de la girouette, la loi de commande implantée dans le bloc de correction est donnée ci-dessous :

- si $\theta_g - \theta_n > \theta_a$ alors le moteur sera commandé dans le sens horaire (sens +) ;
- si $\theta_g - \theta_n < -\theta_a$ alors le moteur sera commandé dans le sens anti-horaire (sens -) ;
- si $\theta_g - \theta_n = 0$ alors le moteur est arrêté.

Des mesures ont permis de relever respectivement les angles $\theta_n = 15^{\circ}$ et $\theta_g = 28^{\circ}$.

Question B.1 | **Calculer** l'écart $\theta_g - \theta_n$ pour ces valeurs.

Question B.2 | **Justifier** qu'il est nécessaire de commander la nacelle en rotation.
Calculer le temps nécessaire pour remettre la nacelle face au vent.

Question B.3 | **Compléter** le diagramme d'état permettant de piloter le sens de rotation du moteur de positionnement de la nacelle.

DRS4

Un modèle de simulation a permis de relever l'allure de l'écart d'angles $\theta_g - \theta_n$ permettant la commande du moteur dans les deux sens de rotation.

Question B.4 | **Reporter** sur le graphique du document DRS5, les valeurs de l'angle admissible $\theta_a = \pm 12^{\circ}$.

DRS5

Question B.5 | **Tracer** l'allure du graphe de commande du moteur de rotation sur le document DRS5.

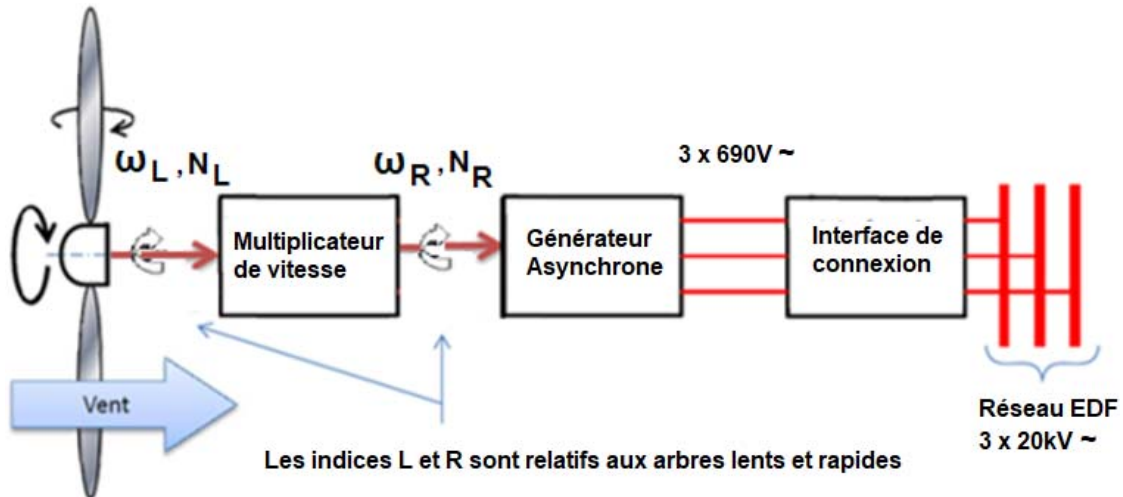
DRS5

Question B.6 | **Conclure** sur l'intérêt de la mise en œuvre du dispositif d'asservissement d'orientation de la nacelle.

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

Le couplage de l'éolienne au réseau électrique est établi lorsque le générateur asynchrone atteint une vitesse de rotation dite de « synchronisme » N_s de $1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. La fréquence de la tension du réseau est fixe et de valeur $f = 50 \text{ Hz}$.

Le glissement de la génératrice asynchrone est négligé et $N_s = N_R$.



synoptique de la structure de production de l'énergie électrique

L'interface de connexion permet le raccordement au réseau électrique.

Pour réaliser le couplage, il faut s'assurer que la fréquence de la génératrice avant couplage au réseau ne dépasse pas un écart de fréquence de $\Delta f = \pm 1 \text{ Hz}$.

La vitesse de synchronisme N_s exprimée en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ est donnée par la relation suivante :

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ avec } p, \text{ nombre de paires de pôle et } f, \text{ fréquence en Hz.}$$

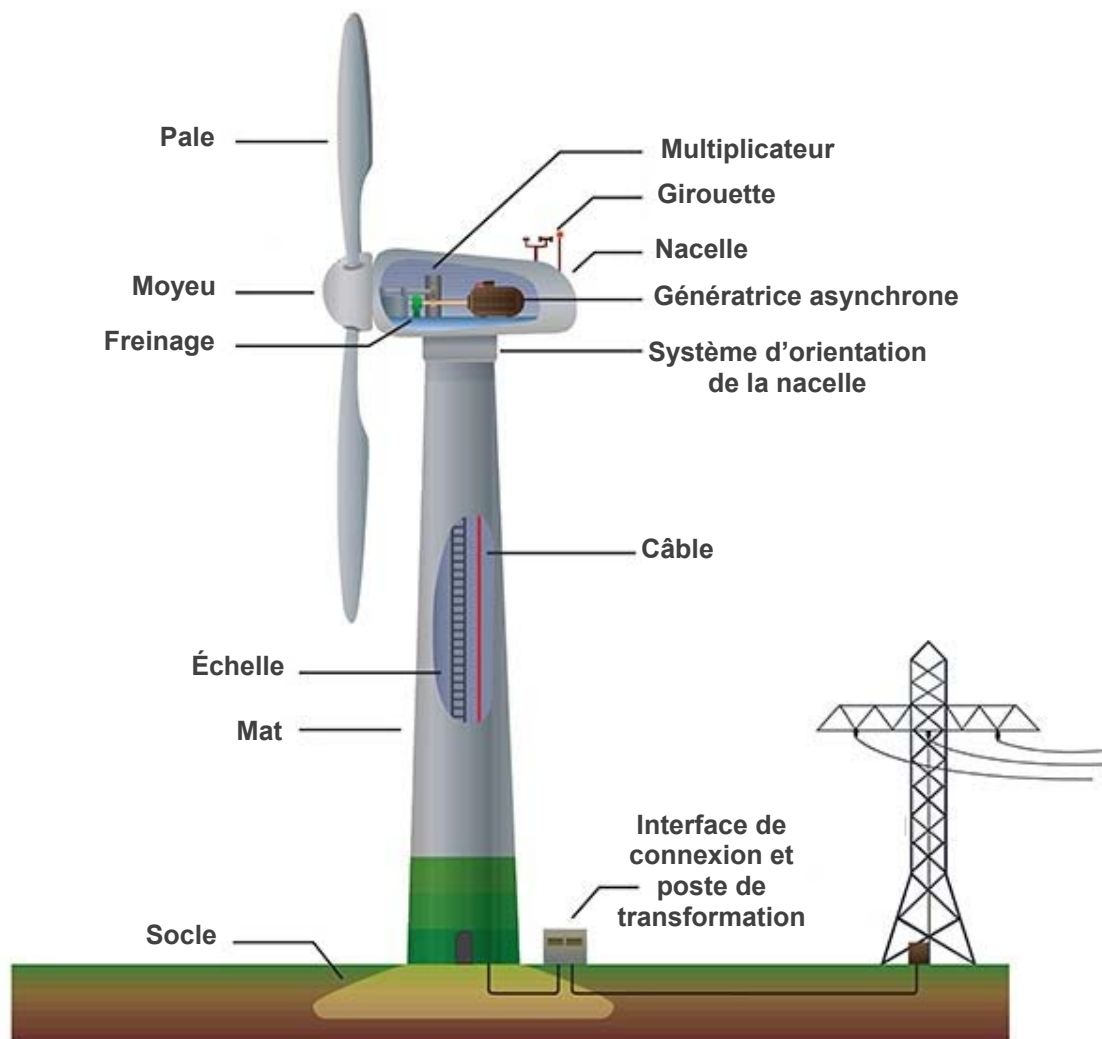
Question C.1 | **Calculer** le nombre de pôle du générateur asynchrone.

Question C.2 | En tenant compte de l'écart de fréquence admissible, **déterminer** l'écart de vitesse ΔN_R admissible sur l'arbre rapide en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

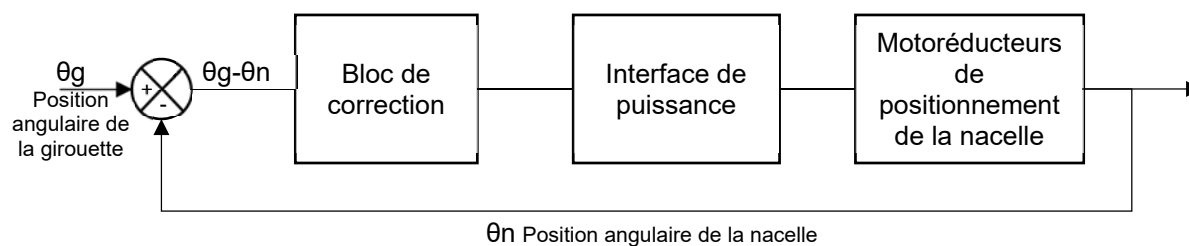
Question C.3 | **En déduire** l'écart de vitesse admissible sur l'arbre lent en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$. **Exprimer** la valeur avec deux chiffres significatifs.

Question C.4 | **Conclure** sur la possibilité de vérifier cet écart compte tenu de la précision du capteur de vitesse qui est de $0,1 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ sur l'arbre lent.

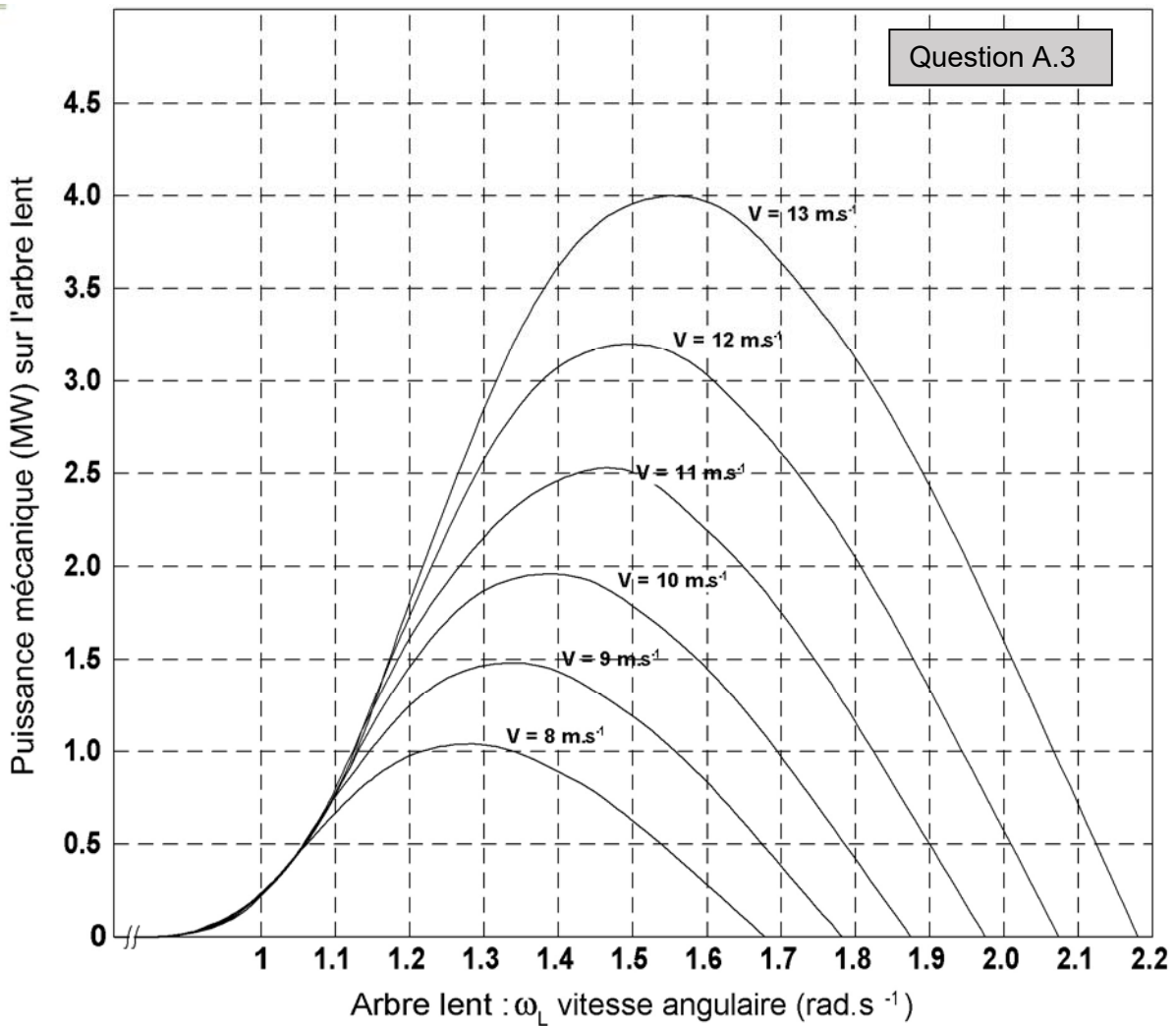
DTS1 : constitution de l'éolienne



DTS2 : boucle d'asservissement de l'orientation de la nacelle



DRS1 : courbes de puissance mécanique en fonction de la vitesse angulaire de l'arbre lent

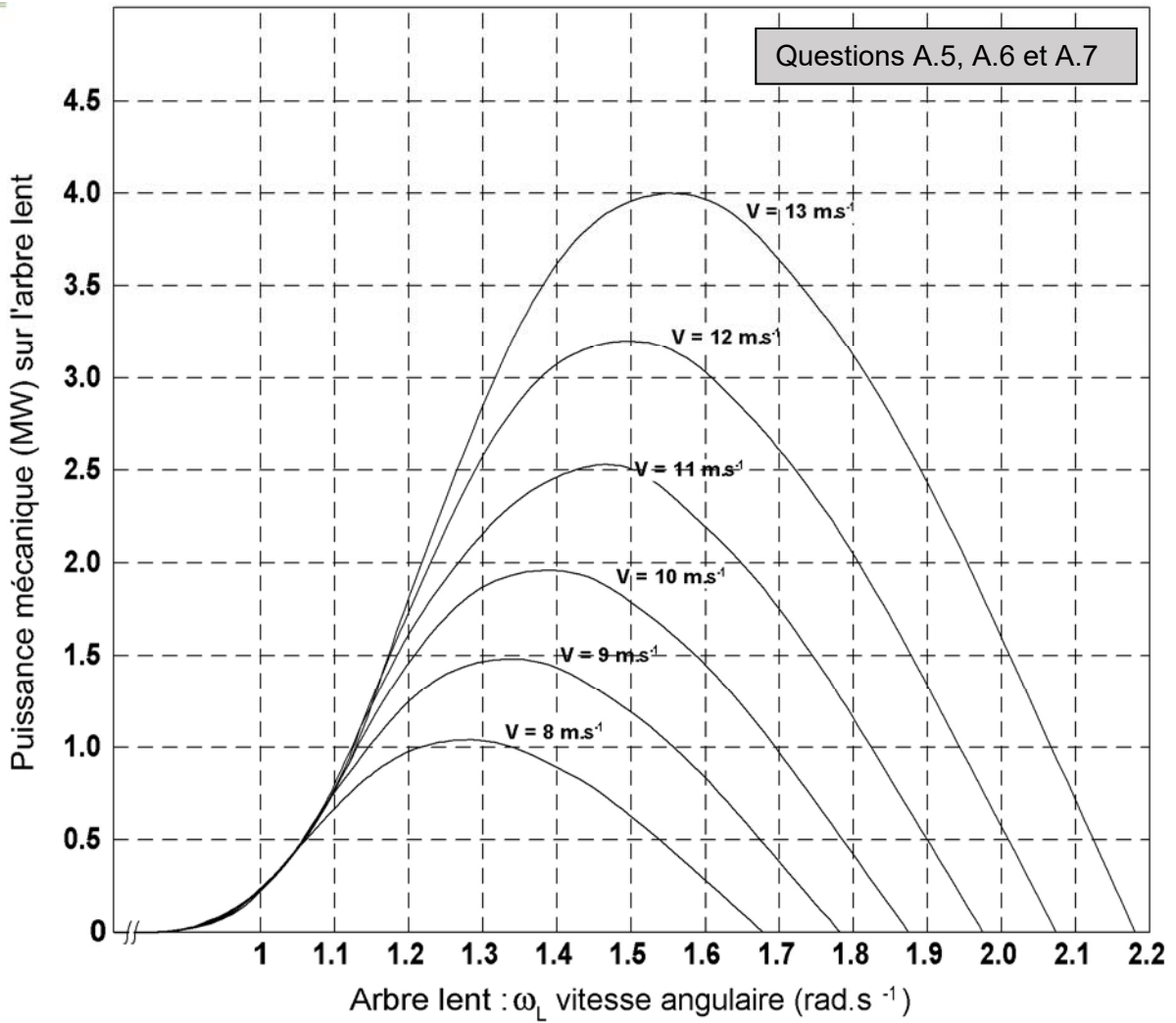


DRS2 : tableau des puissances mécaniques maximales

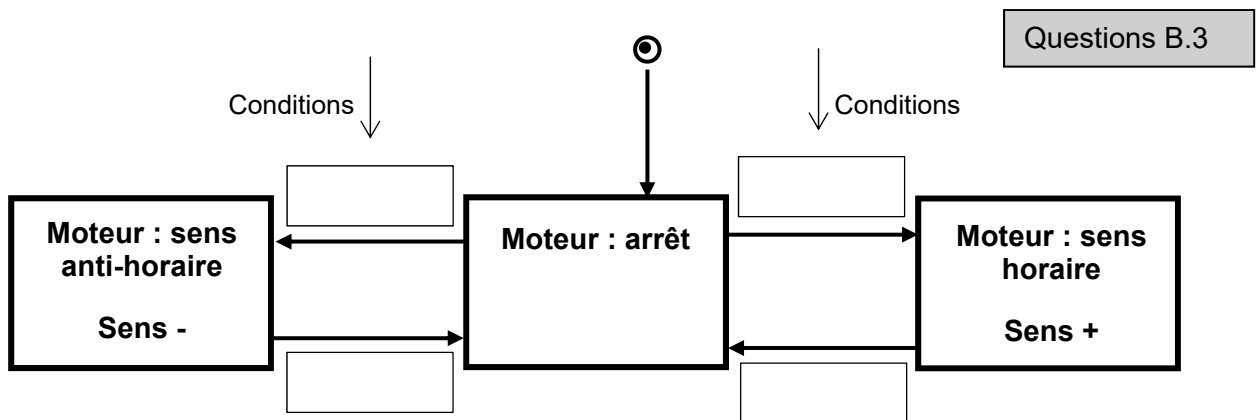
Question A.4

| Vent $V(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--|---|---|----|----|----|----|
| Puissance mécanique max disponible en MW | | | | | | |

DRS3 : courbes de puissance mécanique en fonction de la vitesse angulaire de l'arbre lent

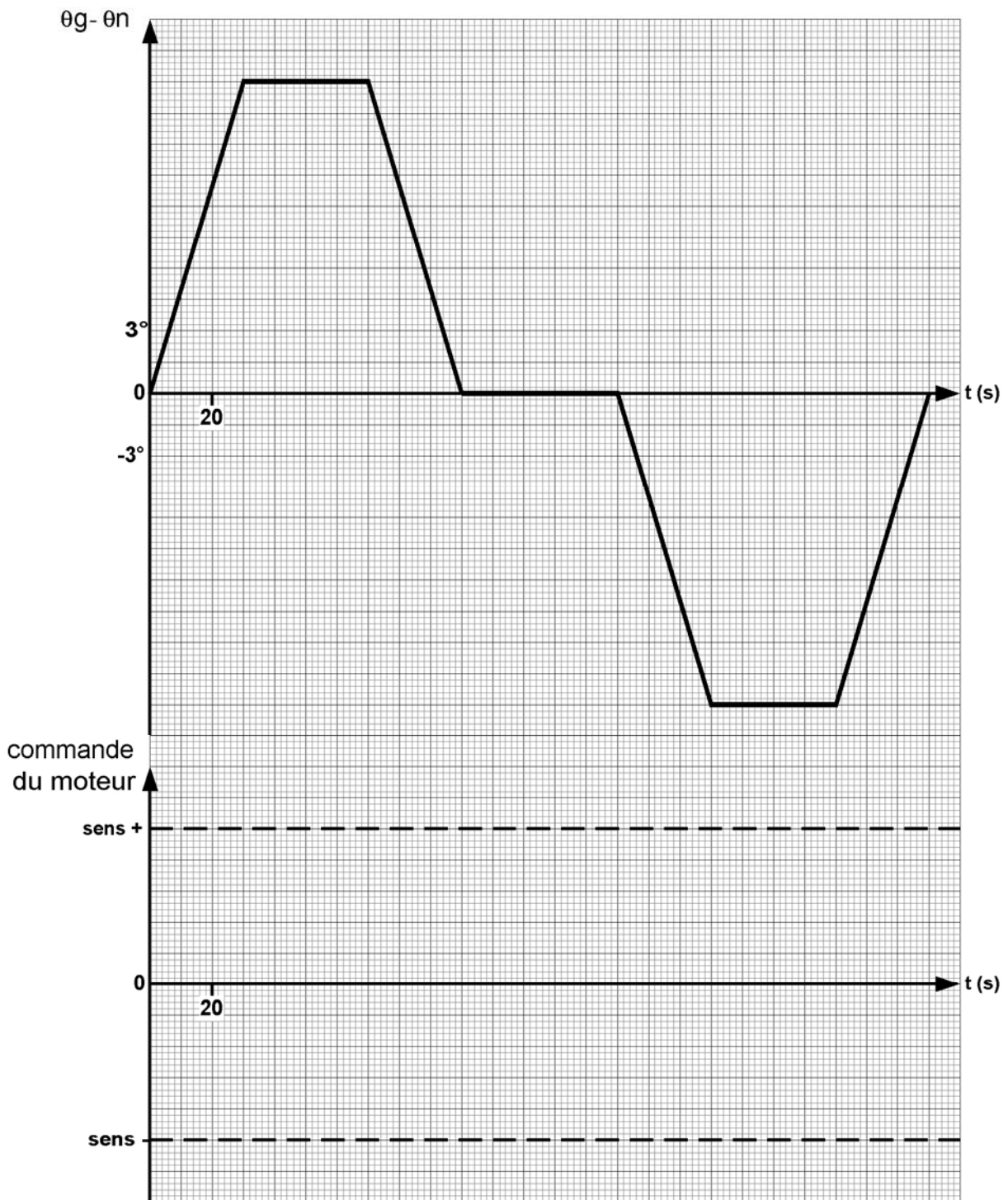


DRS4 : diagramme d'état de commande du sens de rotation moteur



DRS5 : courbes d'évolution de l'écart d'angle

Questions B.4, B.5



BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Épreuve du mercredi 18 juin 2025

Durée de l'épreuve : 4 heures

Aucun document autorisé.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 27 pages numérotées de 1/27 à 27/27.

Constitution du sujet :

| | |
|--|-----------|
| Partie commune (durée indicative 2h30) | 12 points |
| Partie spécifique (durée indicative 1h30) | 8 points |

Le candidat traite la partie commune et la partie spécifique en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses, même vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE enseignement spécifique (1,5h).....8 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Projet de ferme éolienne



- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 17 à 21
- Documents techniques DTS1 à DTS4 pages 22 à 24
- Documents réponses DRS1 à DRS6 pages 25 à 27

Travail demandé

Le bureau d'études précise que la vitesse tangentielle en bout de pale ne doit pas dépasser 300 km·h⁻¹. De plus, après une analyse aérologique du site d'implantation, il précise qu'il est nécessaire d'installer des éoliennes de type « rapide ».

PARTIE A : la vitesse de rotation du rotor est-elle conforme aux données du bureau d'études ?

Question A.1 | D'un point de vue mécanique (résistance de la structure) et acoustique (émissions sonores), **préciser** les raisons qui limitent la vitesse de rotation en bout de pale.

Question A.2 | Selon la vitesse de vent nominale donnée par le constructeur, **vérifier** sur le graphique que cette vitesse correspond à la puissance électrique maximale générée par l'éolienne.

DTS1

DRS1

À ce point de fonctionnement, la fréquence de rotation du rotor est maximale $N_{\text{maxi}} = 13,2 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, en **déduire** la vitesse angulaire maximum ω_{maxi} du rotor en rad·s⁻¹.

Question A.3 | **Définir** la nature du mouvement du rotor par rapport à la nacelle. **Définir** la nature de la trajectoire du point M appartenant à la pale dans son mouvement par rapport à la nacelle $T_{M \in \text{pale}/\text{nacelle}}$. **Préciser** la valeur du rayon R en mètre.

DTS1

DRS2

Question A.4 | **Calculer** la vitesse tangentielle V_t du point M en bout de pale et **tracer** ce vecteur \vec{V}_t . En **déduire** la valeur en km·h⁻¹.

DRS2

Le Tip Speed Ratio (T.S.R) correspond au rapport entre la vitesse tangentielle V_t en bout de pale et la vitesse du vent V_{vent} arrivant sur l'éolienne. Il se caractérise par le coefficient lambda (λ) :

$$\lambda = \frac{V_t}{V_{\text{vent}}}$$

Un classement des technologies d'éoliennes peut se faire par le coefficient lambda :

- si $\lambda < 3$ les éoliennes sont dites « lentes »,
- si $\lambda > 3$ les éoliennes sont dites « rapides ».

Question A.5 | **Calculer** le T.S.R de notre éolienne pour une vitesse tangentielle $V_t = 290 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et une vitesse de vent V_{vent} de coupure.

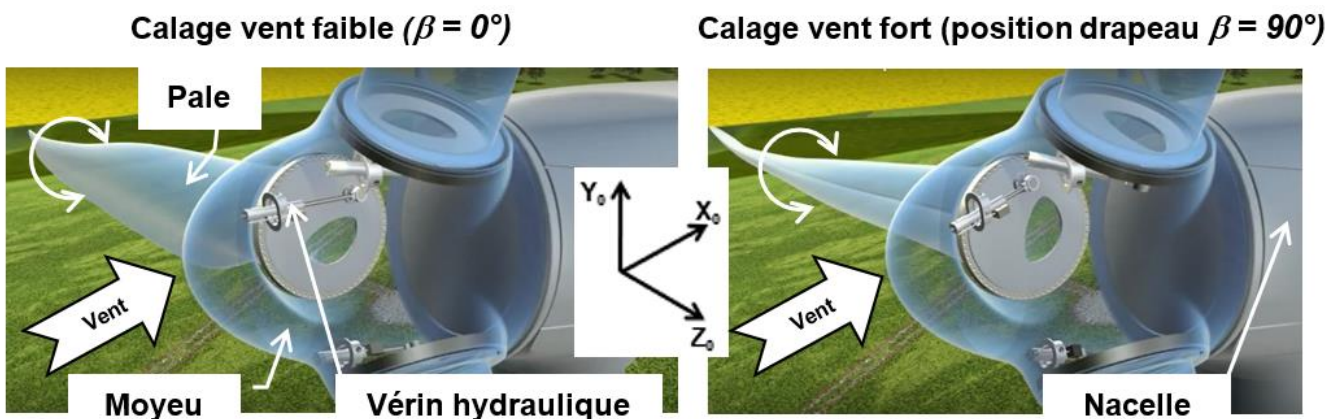
DTS1

Question A.6 | **Conclure** si la vitesse de rotation du rotor est conforme aux données précisées par le bureau d'études.

L'éolienne est équipée d'un dispositif de calage des pales appelé « pitch control ». Ce dispositif permet d'orienter les pales par rapport à la direction du vent pour réguler la vitesse de rotation du rotor.

Cette orientation est définie par l'angle de calage β . Lorsque la vitesse du vent est faible, l'angle de calage est de 0° . Cette orientation permet d'augmenter la force aérodynamique qui génère la rotation des pales. À l'inverse, lorsque la vitesse du vent augmente, l'angle de calage augmente et a pour effet de diminuer la vitesse de rotation du rotor.

Dans le cas où le vent atteint une vitesse trop importante, un angle minimal de 90° doit être garanti pour permettre un décrochage aérodynamique et donc l'arrêt de la rotation (position drapeau). Ce changement de position se fait à l'aide d'un vérin hydraulique (aussi appelé vérin de calage). Chaque pale à son propre dispositif de calage.



PARTIE B : les composants hydrauliques du dispositif de calage sont-ils correctement dimensionnés ?

Comment garantir une plage de réglage de 90° ?

Question B.1 | **Déterminer** la valeur de l'angle de calage β pour les vitesses de vent suivantes :
 DTS1 |

- vitesse de démarrage
- vitesse de coupure

Question B.2 | **Compléter** le graphe des liaisons en indiquant le nom, l'axe et le centre (point) pour chaque liaison.
 DTS2 |
 DRS3 |

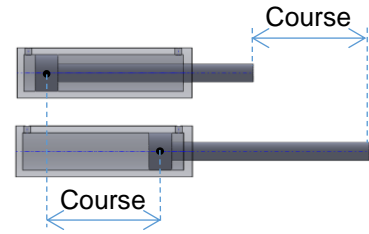
Question B.3 | On donne la mise en plan de la position tige sortie du vérin hydraulique (angle de calage $\beta = 0^\circ$). Sur cette même mise en plan, **tracer**, pour un angle de calage $\beta = 90^\circ$, les points D' et B' qui correspondent à la position du vérin lorsque la tige est rentrée.
 DRS4 |

Question B.4

DRS4

Déduire du tracé précédent la course minimale de la tige en millimètre nécessaire pour garantir une plage de réglage mini de 90°.

(Rappel : course = longueur mesurée entre la position rentrée et la position sortie).



La référence du vérin hydraulique choisie par le bureau d'études pour piloter le calage d'une pale est la suivante : **CD H2 MT4/100/70/950**.

Question B.5

DTS3

En considérant une course minimale de 920 mm, **conclure** à l'aide de la référence choisie par le bureau d'études si le vérin hydraulique permet de garantir la plage de réglage.

L'effort du vérin est-il suffisant pour régler la position de la pale ?

La documentation technique du vérin indique que l'effort maximum exercé par la tige du vérin doit être au maximum égale à 110 kN.

Question B.6

DTS4

DRS5

À l'aide de la schématisation hydraulique du dispositif de calage en position fixe, **indiquer** avec des flèches le sens du flux d'huile dans les conduites repérées de 1 à 4. Pour les deux positions du distributeur, **préciser** le sens de déplacement de la tige du vérin en cochant la bonne proposition.

Question B.7

DTS3, DTS4

À l'aide de la référence du vérin de calage retenue par le bureau d'études, **préciser** la valeur du diamètre du piston et celle de la tige. **Calculer** les surfaces S_1 et S_2 .

Nota :

- S_1 : surface soumise à la pression pour la sortie de tige.
- S_2 : surface soumise à la pression pour la rentrée de tige.

Question B.8

DTS4

La pression d'alimentation fournie par le groupe moto pompe est de 250 bars. **Calculer** l'effort F_2 correspondant à la rentrée de tige. **Justifier** en argumentant, qu'il n'est pas nécessaire de calculer F_1 pour vérifier que l'effort du vérin est suffisant pour régler la position de la pale.
Rappel : 10 bars = 1 MPa = 1 N·mm⁻²

Question B.9

Conclure sur le choix du vérin.

PARTIE C : la liaison moyeu/pale résiste-t-elle à l'effort axial ?

Durant le fonctionnement de l'éolienne, les pales sont soumises à différents efforts qui varient en fonction de la force du vent. L'étude porte sur les efforts axiaux exercés sur une pale, c'est-à-dire aux efforts portés par l'axe \vec{x} lié à la pale. L'étude se limite à deux positions de pale (basse et haute).

Le bureau d'études précise que la force axiale dans la liaison entre le moyeu et la pale doit être inférieure à 1000 kN.

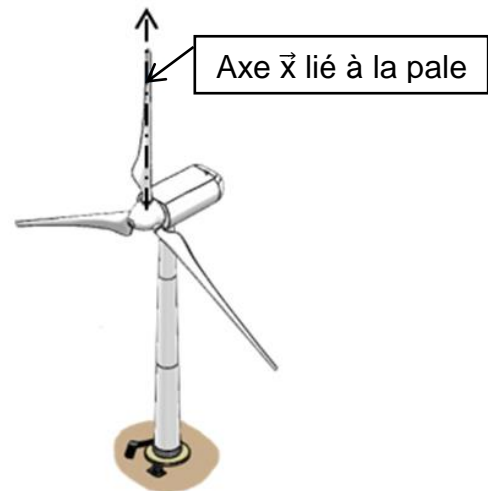
La rotation du rotor engendre une force centrifuge sur la pale. Le rotor tourne à sa fréquence de rotation maximale et est constante (régime établi).

On rappelle la valeur $N_{\text{maxi}} = 13,2 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Dans ces conditions, en isolant la pale, le théorème de la résultante se traduit par l'équation suivante :

$$\vec{E}_{\text{moyeu/pale}} + \vec{P}_{\text{pale}} + \vec{F}_{\text{cent}} = \vec{0}$$

On prendra $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



Question C.1

DTS1, DRS6

Calculer le poids d'une pale. **Tracer** en vert le vecteur poids \vec{P}_{pale} pour les deux positions représentées.

La force centrifuge se modélise par le vecteur \vec{F}_{cent} au centre de gravité G de la pale. Le sens de cette force est toujours dirigé vers l'extérieur de la trajectoire du mouvement.

$$\vec{F}_{\text{cent}} = (m \times R \times \omega_{\text{maxi}}^2) \cdot \vec{x}$$

Avec :

- m : masse de la pale en kg
- R : rayon $OG = 15,4 \text{ m}$
- ω_{maxi} : vitesse angulaire maximum en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Question C.2

DRS6

Calculer la force centrifuge exercée sur la pale. **Tracer** en rouge le vecteur force centrifuge \vec{F}_{cent} pour les 2 positions représentées.

Question C.3

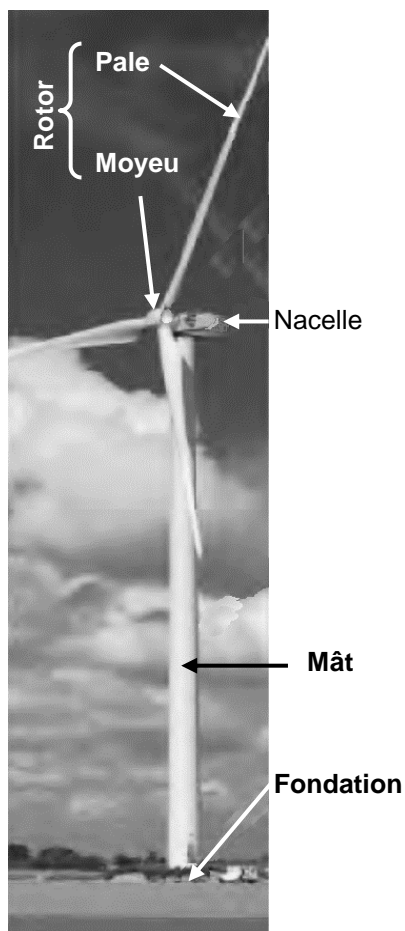
DRS6

Déduire des deux positions celle où l'effort axial $\vec{E}_{\text{moyeu/pale}}$ sera le plus important. **Calculer** et **tracer** en bleu cet effort sur la position concernée.

Question C.4

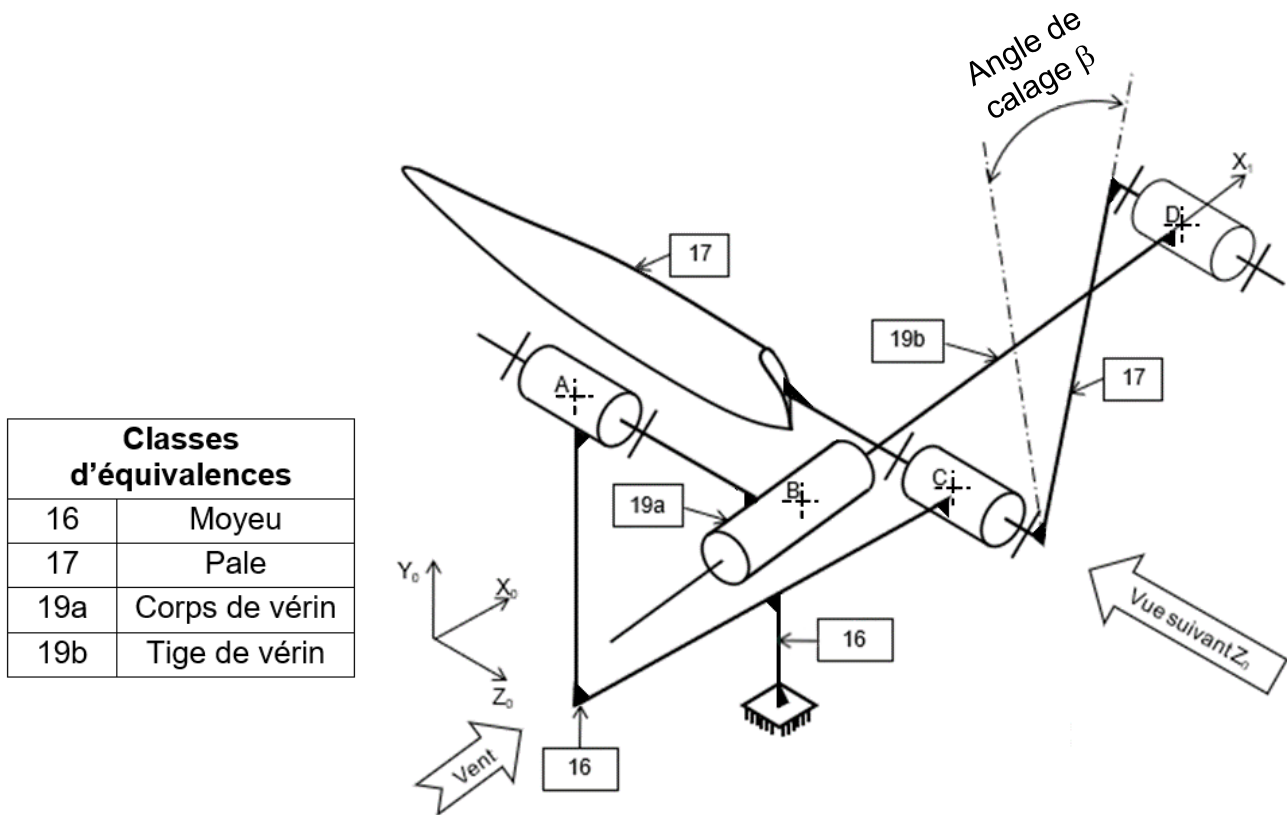
Conclure si la liaison résiste à l'effort axial. **Déterminer** le coefficient de sécurité « s » pris en compte par le bureau d'études.

DTS1 : caractéristiques de l'éolienne N117 – 2,4 MW



| CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES | MODÈLE N117 – 2,4 MW |
|--|---|
| ROTOR | |
| Diamètre global des pales | 116,8 m |
| Nombre de pales | 3 |
| Fréquence de rotation | 7,5 – 13,2 tr·min ⁻¹ |
| Freins | Mise en drapeau des pales par dispositif hydraulique et frein d'arrêt à disque supplémentaire au niveau du rotor. |
| Surface balayée | 10 715 m ² |
| NACELLE | |
| Masse de la nacelle | 72 tonnes |
| PALES | |
| Matériau | Résine renforcée en fibre de carbone et fibre de verre. |
| Masse d'une pale | 8,3 tonnes |
| MÂT | |
| Type | Conique creux (accès à la nacelle par escaliers intérieurs), segment tubulaire en acier. Fondation en béton. |
| Hauteur de mât seul | 89 m |
| Masse du mât | 210 tonnes |
| GÉNÉRATRICE | |
| Type | Asynchrone à double alimentation. |
| Puissance nominale | 2,4 MW |
| Fréquence | 50 à 60 Hz |
| DONNÉES OPÉRATIONNELLES | |
| Hauteur totale de l'éolienne en bout de pale | 149,4 m |
| Vitesse de vent de démarrage | 3 m·s ⁻¹ |
| Vitesse de vent nominale | 11 m·s ⁻¹ |
| Vitesse de vent de coupure | 20 m·s ⁻¹ |

DTS2 : schéma cinématique minimal du pitch control



| Classes d'équivalences | |
|------------------------|----------------|
| 16 | Moyeu |
| 17 | Pale |
| 19a | Corps de vérin |
| 19b | Tige de vérin |

DTS3 : codification référence vérin hydraulique

Référence du vérin choisi par le bureau d'études :
CD H2 MT4/100/70/950



Codification série CD H2 ...

| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
|----|----|-----|----|-----|----|
| CD | HD | ... | / | ... | / |

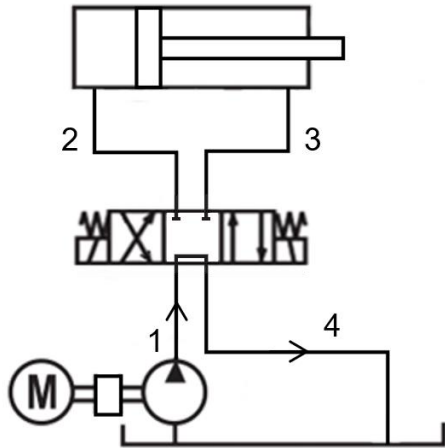
| | | |
|----|--------------------|----|
| 01 | Vérin différentiel | CD |
| 02 | Série | H2 |

Type de fixation

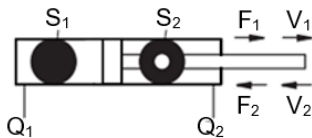
| | | |
|----|------------------------------|-----|
| 03 | Tenon fixe sur le fond | MP3 |
| | Tenon à rotule sur le fond | MP5 |
| | Bride circulaire sur la tête | MF3 |
| | Bride circulaire sur le fond | MF4 |
| | Tourillon | MT4 |
| | Fixation des pattes | MS2 |
| 04 | Diamètre du piston en mm | ... |
| 05 | Diamètre de la tige en mm | ... |
| 06 | Longueur de course en mm | ... |

DTS4 : schématisation hydraulique simplifiée

Schéma hydraulique en position fixe
(La tige du vérin est en position fixe, la pale est calée à un angle β)



Notations retenues pour le vérin hydraulique



S : surface du piston soumise à la pression d'huile (surface identifiable en noir)

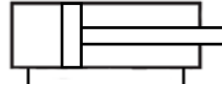
F : force en bout de tige

V : vitesse de tige

Q : débit d'huile

Symbolisation hydraulique

Vérin double effet :



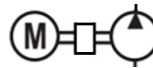
Il produit une force de poussée ou de traction grâce à la pression de l'huile exercée d'un côté ou de l'autre du piston.

Distributeur 3 positions :



Il permet de diriger le flux d'huile dans les conduites d'alimentation pour piloter les mouvements du vérin.

Groupe moto pompe :



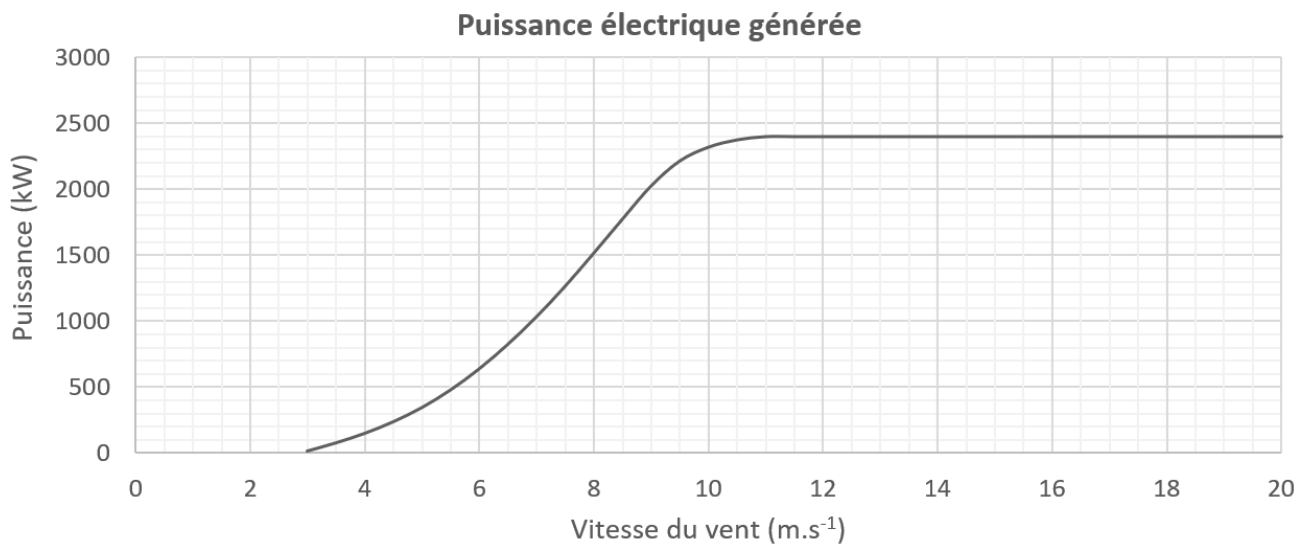
Un sens de flux, il permet d'alimenter l'ensemble du circuit hydraulique avec une pression et un débit d'huile spécifique en pompant l'huile du réservoir.

Réservoir d'huile :



Stockage d'huile pour l'alimentation du circuit en boucle fermée.

DRS1 : courbe de puissance générée



DRS2 : étude du mouvement du rotor

Échelle des vitesses :

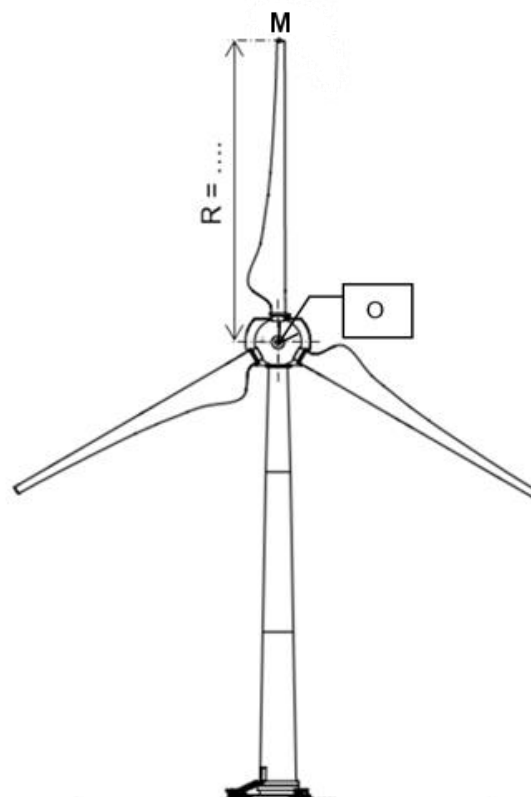
1 cm \rightarrow 20 m·s⁻¹

Sens de rotation du rotor :

sens horaire

Point O :

centre de rotation du rotor



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

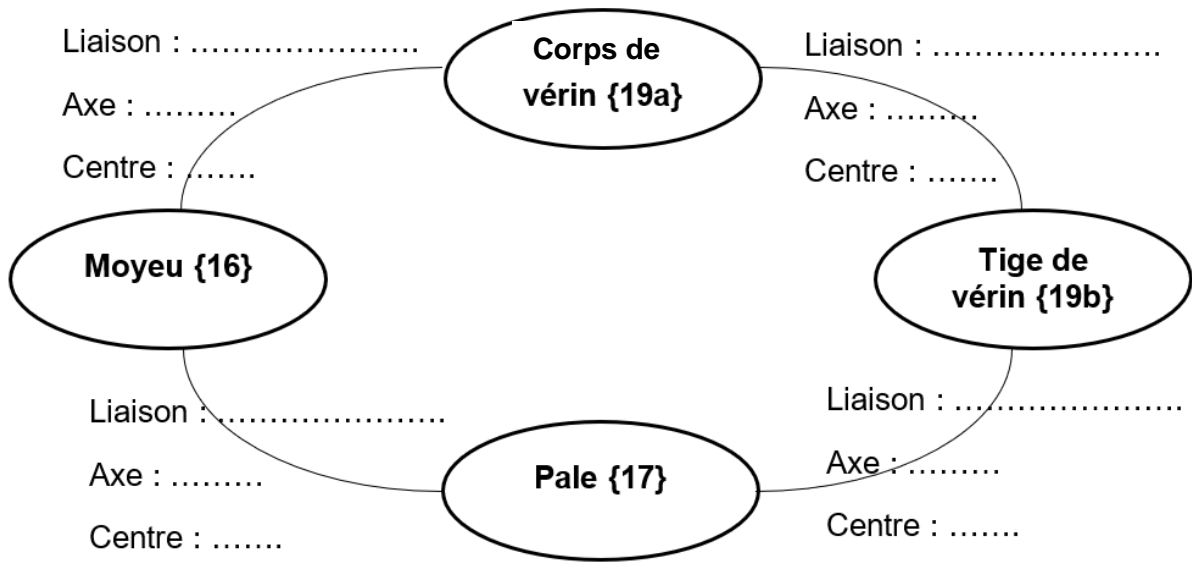


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

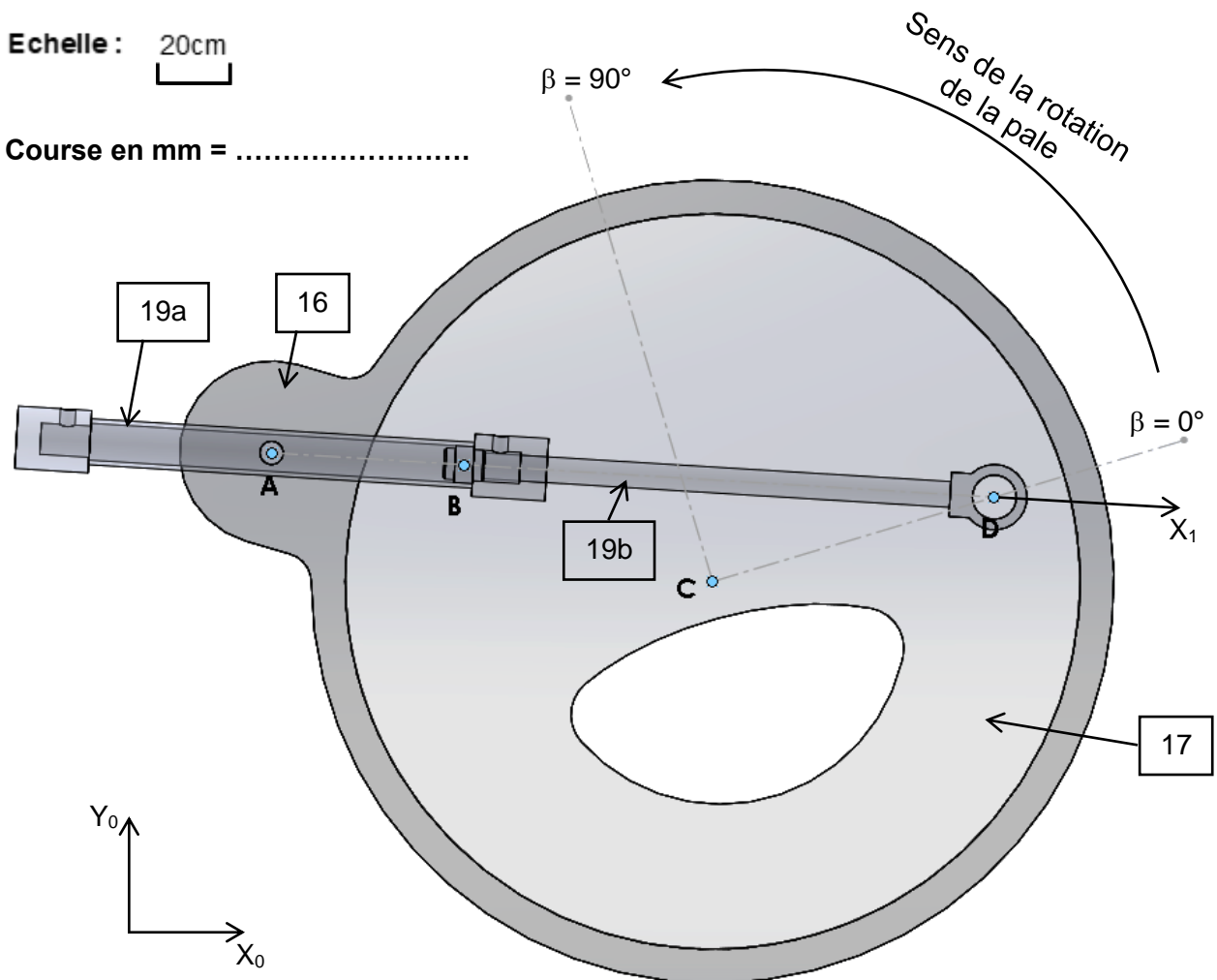
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Né(e) le : / /

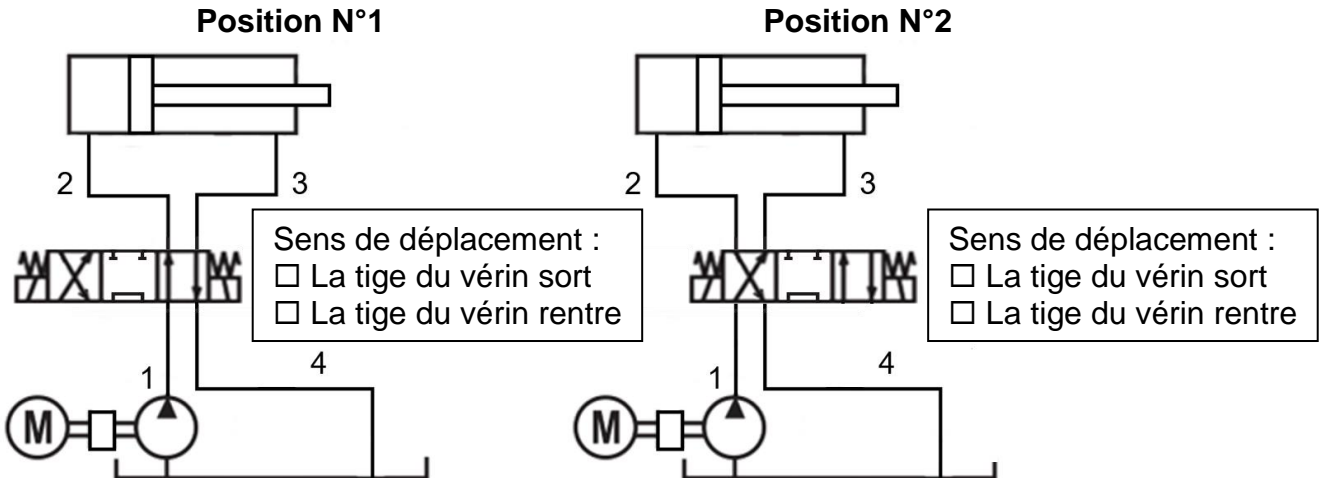
DRS3 : graphe des liaisons du pitch control



DRS4 : mise en plan, positions du vérin hydraulique du pitch control



DRS5 : positions du distributeur et flux hydraulique



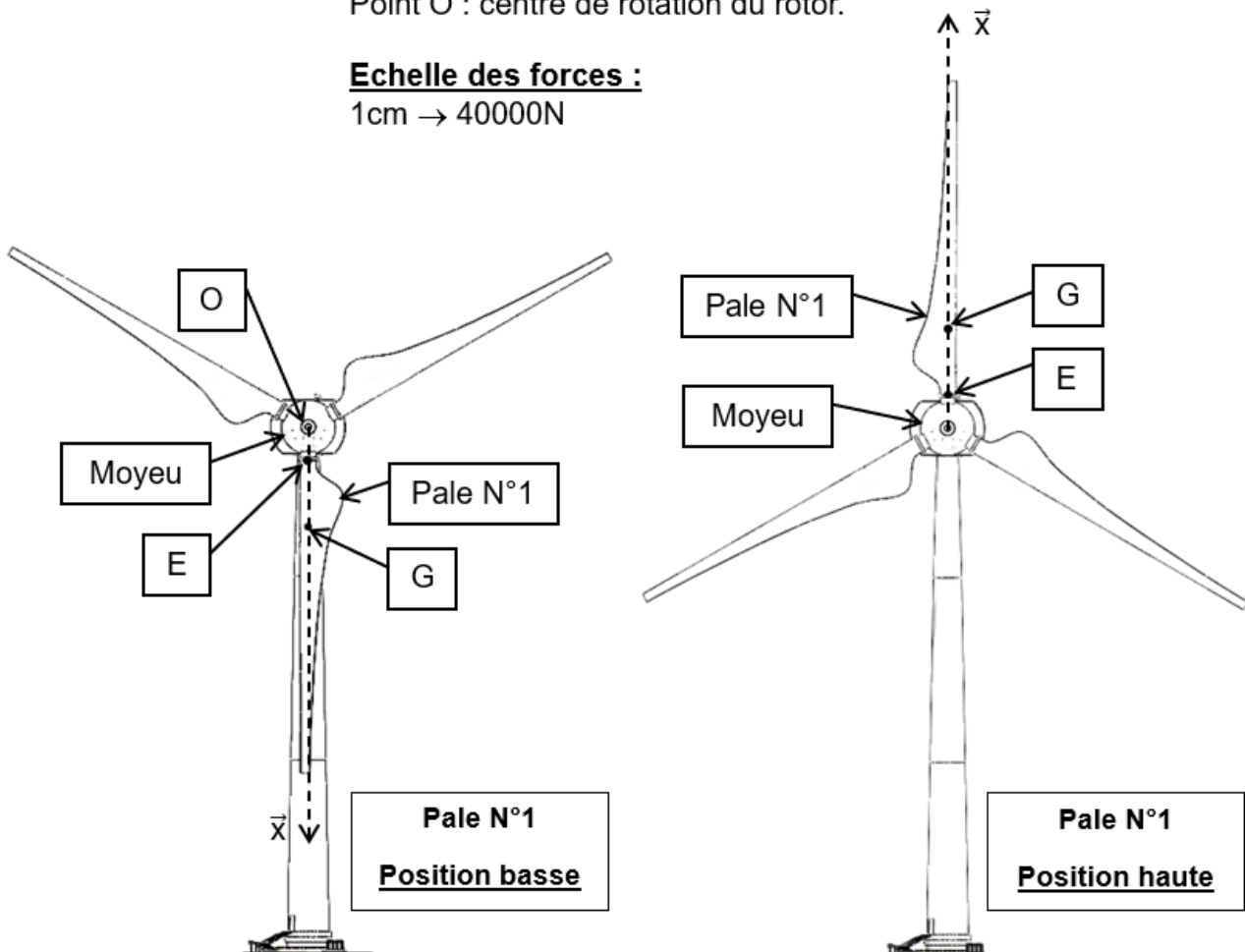
DRS6 : efforts sur une pale

Légende :

Point E : centre de la liaison moyeu/pale.
 Point G : centre de gravité de la pale.
 Point O : centre de rotation du rotor.

Echelle des forces :

1cm → 40000N



BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Épreuve du mercredi 18 juin 2025

Durée de l'épreuve : 4 heures

Aucun document autorisé.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 30 pages numérotées de 1/30 à 30/30.

Constitution du sujet :

| | |
|--|-----------|
| Partie commune (durée indicative 2h30) | 12 points |
| Partie spécifique (durée indicative 1h30) | 8 points |

Le candidat traite la partie commune et la partie spécifique en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses, même vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE enseignement spécifique (1.5h)8 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

Systemes d'Information et Numérique

Projet de ferme éolienne



Constitution du sujet :

- **Présentation de l'étude et du questionnement.....** pages 17 à 23
- **Documents techniques DTS1 à DTS4** pages 24 à 26
- **Documents réponses DRS1 à DRS5.....** pages 27 à 30

Mise en situation

Afin d'optimiser au maximum l'efficacité énergétique d'une éolienne, la nacelle doit toujours être positionnée face au vent pour disposer du maximum de puissance. Il faut donc connaître l'orientation de la nacelle par rapport au vent à tout moment.

Travail demandé

Partie A : comment acquérir l'orientation de la nacelle ?

Question A.1 | **Compléter** sur le diagramme de blocs internes "orientation de la nacelle" les blocs de la chaîne d'information qui répondent aux fonctions :

DRS1

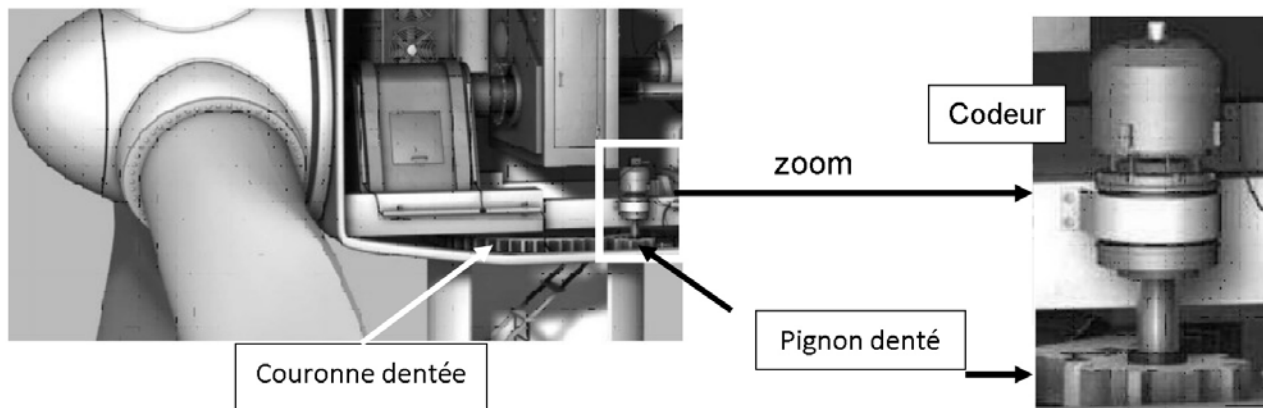
Acquérir - Traiter - Communiquer

Question A.2 | En vous aidant des exemples ci-dessous, **indiquer** sur votre copie la nature des signaux présents sur les points 1, 2, 3 et 4 du diagramme de bloc interne "orientation de la nacelle" :

DRS1

Exemples : *Courant analogique - Signal logique - Grandeur physique*
Tension analogique - Information numérique

La nacelle est autorisée à faire trois tours autour de son axe. Ensuite elle doit retourner à sa position initiale. Pour détecter la position de la nacelle on utilise un codeur entraîné par un système couronne / pignon qui multiplie par 20/3 le nombre de tours effectués par la nacelle.



Les données du codeur sont envoyées à l'unité de traitement par un bus de communication SSI.

Question A.3 | En justifiant votre réponse, **choisir** dans le document technique DTS1 le codeur à utiliser afin de connaître à tout moment la position angulaire de la nacelle.

DTS1

Le codeur choisi transmet deux informations :
- le nombre de tours effectués codé sur 12 bits ;
- la position angulaire sur un tour codé sur 12 bits.

Question A.4 | **Calculer** le nombre de positions angulaires mesurables pour un tour de codeur.

Le cahier des charges impose de mesurer l'angle de la nacelle avec une précision de 2°.

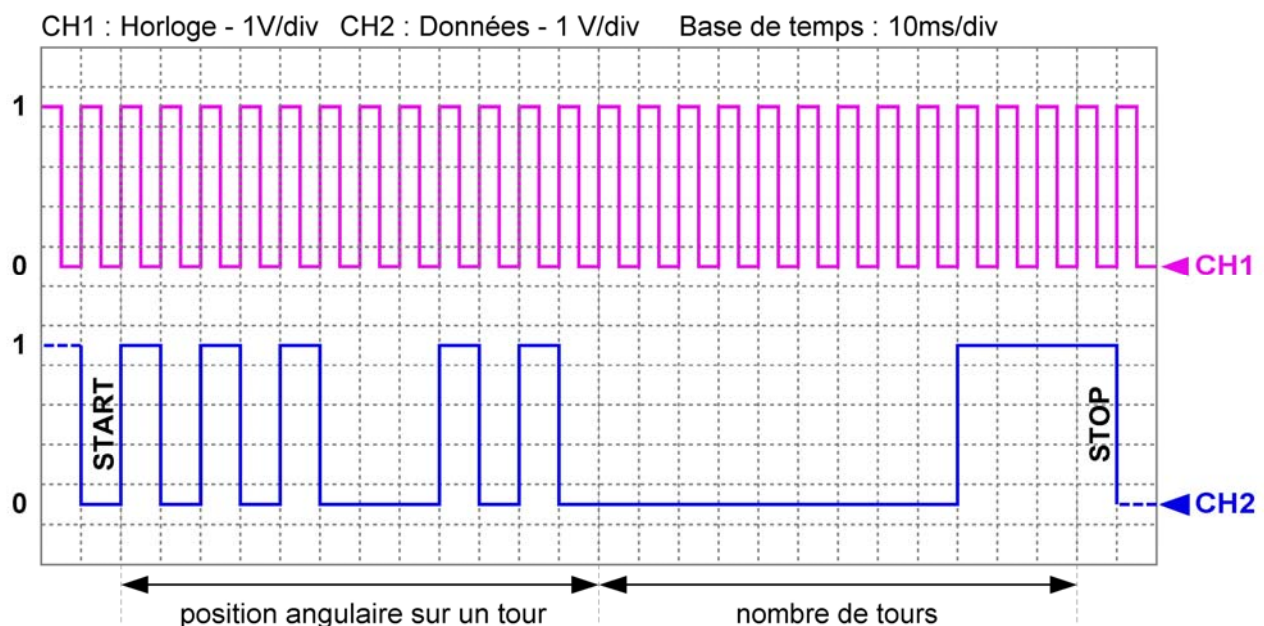
Question A.5 | **Calculer** le plus petit angle mesurable sur le déplacement de la nacelle.

Question A.6 | **Conclure** sur le système d'acquisition de la position de la nacelle au vu des exigences données.

Partie B : comment obtenir une information exploitable de la position angulaire de la nacelle ?

Le codeur fournit la position angulaire et le nombre de tours effectués en code Gray (un seul bit doit varier entre deux positions successives). Ces deux informations sont envoyées à l'unité de traitement sur trois octets. Les douze premiers bits représentent la position angulaire sur un tour avec le bit de poids fort en premier et les douze suivants le nombre de tours effectués toujours avec le bit de poids fort en premier.

L'oscillogramme suivant représente la capture d'une trame entre le codeur et l'unité de traitement.



Question B.1 | À partir de cette trame, **compléter** le logigramme de conversion Gray
DRS2 | Binaire en indiquant la valeur de chaque bit de la position angulaire sur un
tour.

Il est nécessaire d'effectuer un traitement informatique afin de rendre ces données exploitables. Ce traitement consiste à convertir le code Gray issu du codeur en binaire naturel pour finalement obtenir une valeur décimale.

Cette conversion peut se représenter par un logigramme utilisant des OU Exclusif. L'opération de conversion commence par le bit de poids fort.

Question B.2 | En vous aidant de la table de vérité de la fonction OU EXCLUSIF,
DTS2 | **compléter** la deuxième partie du logigramme de conversion
DRS2 | Gray→Binaire.

Le codeur n'incluant pas ce système, la conversion est réalisée par la fonction informatique "convertir_G_to_B" (convertir du code gray vers le code binaire naturel).

Le code de la fonction convertir_G_to_B est partiellement donné.

Question B.3 | En vous aidant de l'algorithme de conversion Gray →Binaire,
DTS3 | **compléter** les parties grisées du code de la fonction.

DRS3

L'écran de supervision de la salle de contrôle indique une orientation de la nacelle de 331.5° pour la trame capturée ci-dessus.

Question B.4 | Sachant que cet angle est 1/10 de la valeur renvoyée par la fonction
convertir_G_to_B, **calculer** la valeur binaire correspondant à cet angle et
conclure sur le fonctionnement de cette fonction.

Partie C : comment orienter l'éolienne face au vent ?

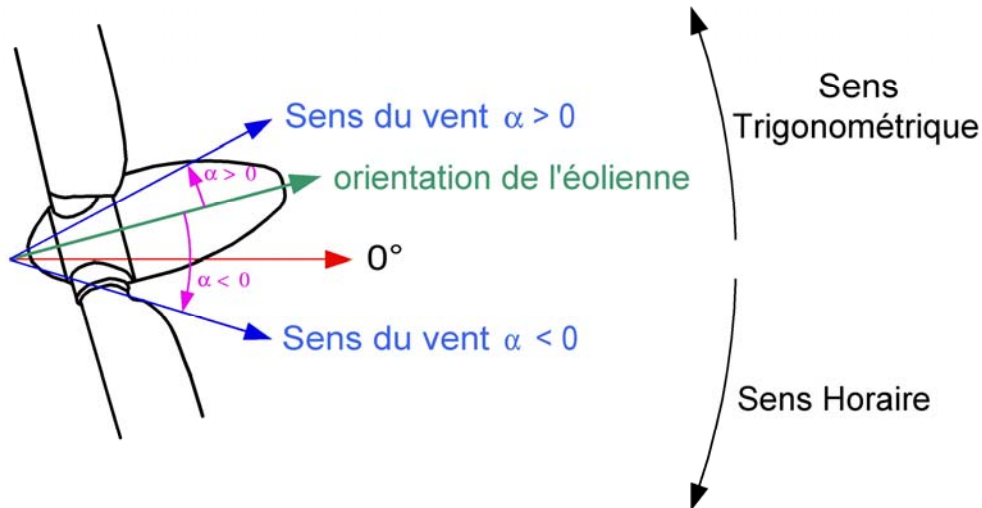
Le codeur monté sur la nacelle de l'éolienne permet de mesurer son orientation. Pour pouvoir la maintenir face au vent il faut aussi connaître la direction du vent. Comme pour la nacelle, le cahier des charges impose de connaître l'orientation du vent avec une précision de 2°.

Cette mesure est réalisée grâce à une girouette électronique modèle CS024A dont les caractéristiques sont données sur le document DTS4.

L'Est est considéré comme l'origine de l'orientation (0° du cercle trigonométrique).

Question C.1 | En vous aidant de la documentation de ce capteur, **compléter**, le schéma
DTS4 | de câblage de ce capteur sur l'unité de traitement. L'acquisition se fait sur
DRS4 | l'entrée analogique n°3.

Pour positionner la nacelle face au vent, il faut la faire tourner dans le bon sens. Cette rotation se fera si la différence entre l'orientation du vent et celle de la nacelle est supérieure à $\pm 6^\circ$. Dans ce cas, on considère que la nacelle est alignée avec le vent.



Question C.2 | À l'aide de la vue de dessus de l'éolienne donnée ci-dessus, **compléter** l'algorithme de rotation de la nacelle en plaçant les différents textes suivants :

DRS5

$$\alpha = \text{Cap_Sens_Vent} - \text{Cap_Or_Eol}$$

Tourner dans le sens horaire

$\text{Cap_Or_Eol} = \text{Lecture capteur orientation éolienne}$

Tourner dans le sens trigonométrique

$\text{Cap_Sens_Vent} = \text{Lecture capteur sens vent}$

Les entrées analogiques de l'unité de traitement possèdent un convertisseur analogique-numérique avec une plage de tension de 0 V à 10 V et une résolution de 10 bits.

Question C.3 | **Calculer** le quantum de ce convertisseur.

Question C.4 | Le nombre obtenu en sortie du convertisseur analogique-numérique est $N = 768$. **Calculer** pour N la valeur de la tension en entrée de ce convertisseur et en **déduire** l'orientation du vent.

DTS4

Le codeur de position angulaire de la nacelle indique une orientation de $264,7^\circ$ par rapport à l'angle 0° du cercle trigonométrique.

Question C.5 | **Indiquer** si la nacelle est alignée avec le vent et **conclure** sur le système de positionnement de la nacelle face au vent.

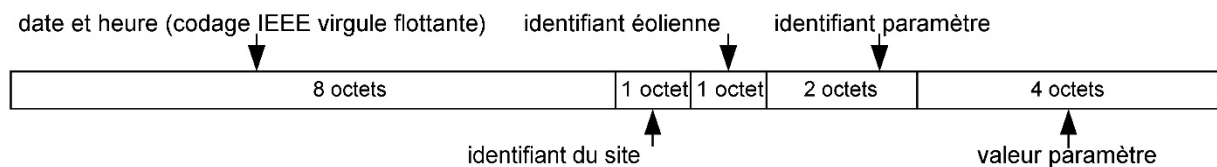
Partie D : comment afficher les paramètres de chaque éolienne en temps réel dans la salle de supervision ?

Chaque site de production possède plusieurs éoliennes et un serveur local de données. Ce dernier permet d'enregistrer les données en provenance de chaque éolienne et de les transmettre via Internet vers le serveur. Pour fonctionner en temps réel, la salle de supervision reçoit, toutes les secondes les données, de plusieurs sites de production.

Les données de chaque site sont transmises, enregistrées et mises à jour sur les écrans de supervision.

Pour vérifier la faisabilité de cette mise à jour sur ces écrans, on étudie la quantité de données à faire transiter et la vitesse de transmission.

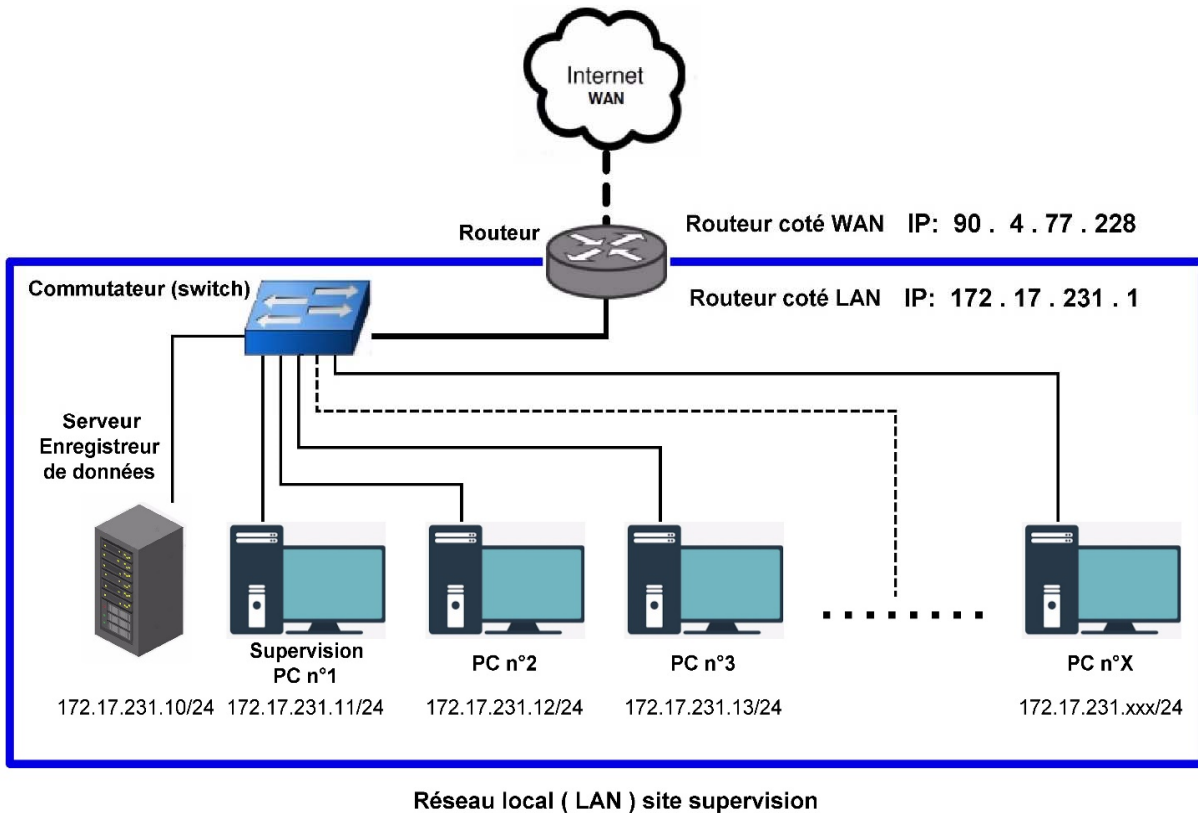
Pour chaque éolienne, il est possible de surveiller jusqu'à 300 paramètres. Le protocole de stockage pour 1 paramètre est le suivant :



Question D.1 | **Calculer** la taille du fichier de stockage de l'ensemble des paramètres d'une éolienne. **Exprimer** le résultat en kilo-octet (1 ko = 1024 octets).

Dans la salle de supervision, un serveur enregistre toutes les données reçues et chaque ordinateur vient mettre à jour son affichage en envoyant une requête.

L'architecture du réseau de la salle de supervision est donnée ci-dessous :



Le fichier de données ne peut pas être envoyé en une seule trame car celle-ci est limitée à 1 514 octets de données. Le PC n°2 transmet une requête au serveur afin de mettre à jour son affichage. L'ensemble du dialogue entre les deux machines est détaillé ci-dessous.

| Temps (s) | Source | Destination | Protocole | Taille (octet) | Information |
|-----------|----------|---------------|---------------|----------------|--|
| 1 | 0.000000 | 172.17.231.12 | 172.17.231.10 | TCP | 380 Get /data/site23/eol08.dat TCP/1.1 |
| 2 | 0.000253 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 60 80 49236 [ack] Seq=470 Ack=624 win=64240 Len=0 |
| 3 | 0.000293 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 4 | 0.000798 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 5 | 0.001303 | 172.17.231.12 | 172.17.231.10 | TCP | 54 49236 80 [ack] Seq=624 Ack=1876 win=64240 Len=0 |
| 6 | 0.001339 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 7 | 0.001843 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 8 | 0.002348 | 172.17.231.12 | 172.17.231.10 | TCP | 54 49236 80 [ack] Seq=624 Ack=3282 win=64240 Len=0 |
| 9 | 0.002384 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 10 | 0.002889 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 757 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 11 | 0.003393 | 172.17.231.12 | 172.17.231.10 | TCP | 54 49236 80 [ack] Seq=624 Ack=4396 win=64240 Len=0 |
| 12 | 0.003429 | 172.17.231.10 | 172.17.231.12 | TCP | 258 [TCP segment of the reassembled PDU] |
| 13 | 0.003601 | 172.17.231.12 | 172.17.231.10 | TCP | 54 49236 80 [ack] Seq=624 Ack=5126 win=64240 Len=0 |

Question D.2 | **Déterminer** le temps de transfert pour cette machine.

Calculer le nombre d'éoliennes qu'il est possible de superviser avec un rafraichissement des données chaque seconde.

Question D.3 | Pour ce projet de ferme éolienne, **conclure** sur la possibilité d'effectuer une supervision en temps réel.

DTS1 : caractéristiques de différents codeurs permettant de connaître la position angulaire de la nacelle



Application

| | | | |
|----------------------------|-------------|------------|-----------|
| Principe de fonctionnement | incrémental | absolu | absolu |
| Système de détection | magnétique | | |
| Type de tour | infini | multi-tour | mono-tour |

Données électriques

| | | | |
|-------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Type d'alimentation [V] | 4.75 ... 30 DC | 4.5 ... 30 DC | 10 ... 30 DC |
| Consommation [mA] | <150 | <30 | <100 |
| Classe de Protection | III | II | II |

Sortie

| | | | |
|-------------|--------------|-----------|-----------|
| Technologie | HTL / TTL | | |
| Code | 3 impulsions | code gray | code gray |

Etendue de mesure / plage de réglage

| | | | |
|------------|--|------------------------------------|-----------------------|
| Résolution | 1...10000 points (Paramétrable Réglage usine : 1024) ; | 4096 points ; 4096 tours ; 24 bits | 8192 points : 13 bits |
|------------|--|------------------------------------|-----------------------|

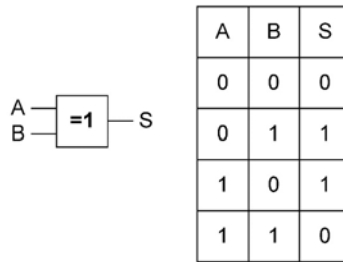
Interfaces

| | | | |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Interface de communication | IO-LINK | Interface de données SSI | Interface de données SSI |
| Type de transmission | COM _n (38,4 kBaud) | RS422 50000 bits/s | RS422 50000 bits/s |

Données mécaniques

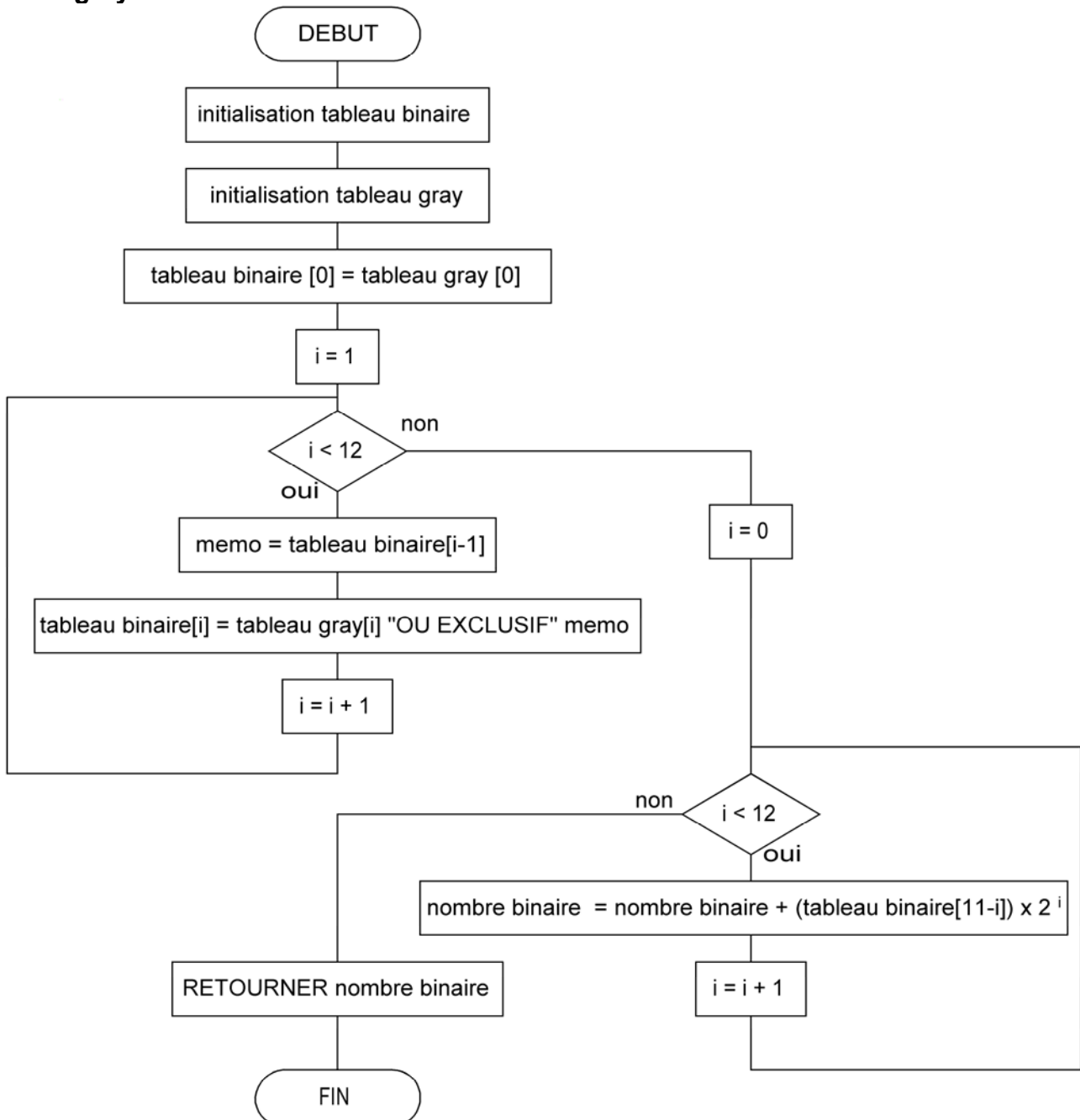
| | | | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Poids [g] | 430 | 336.5 | 1113,3 |
| Dimensions [mm] | ∅ 58,5 / L = 59 | ∅ 36,5 / L = 67 | ∅ 89 / L = 116 |
| Matières | flask aluminium, boîtier inox | flask aluminium, boîtier acier | flask & boîtier aluminium |
| Type d'arbre | arbre creux unidirectionnel | arbre creux unidirectionnel | arbre plein |
| Diamètre de l'arbre [mm] | 12 | 12 | 10 |
| Matières de l'arbre | acier / inox | acier | inox |

DTS2 : table de vérité de la fonction « OU Exclusif »



DTS3 : algorithme de conversion Gray → Binaire

Cet algorithme permet la conversion d'un tableau de 12 bits représentant un code gray vers un nombre en binaire codé sur 12 bits.



DTS4 : documentation technique du capteur CS024A

CS024A

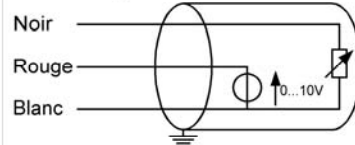
Spécifications

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Capteur | Girouette |
| Description mesure | Direction du vent |
| Plage de mesure | 0 à 360°C |
| Tension de sortie | 0 à 10 V |
| Seuil de démarrage | 0.45 m.s ⁻¹ |
| Exactitude de mesure | ±2° |
| Température de fonctionnement | -50°C à +70°C |
| Plage d'alimentation | 4,5V à 30V DC |
| Potentiomètre (0% à 100%) | 0 à 10 k |
| Hauteur totale | 33,8 cm |
| Longueur totale | 44,7 cm |
| Hauteur de l'empenage | 30,5 cm |



Câblage

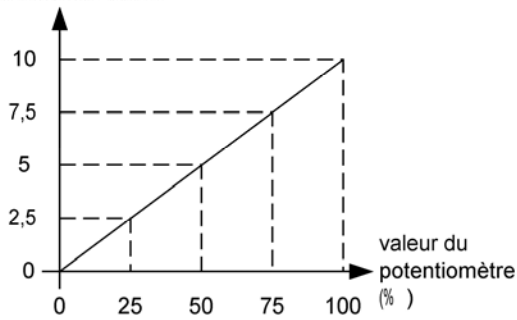
Schéma équivalent



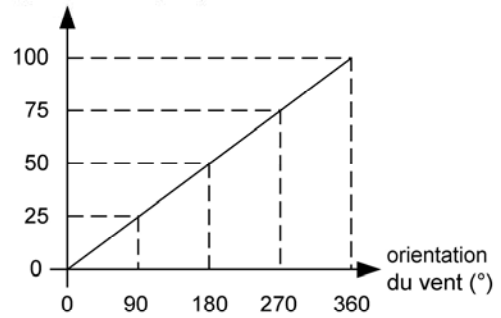
| Couleur fil | Câblage |
|-------------|--|
| Noir | Alimentation positive |
| Blanc | Alimentation négative |
| Rouge | Sortie tension variable en fonction de l'orientation du vent |

Caractéristiques

Tension de sortie (V)



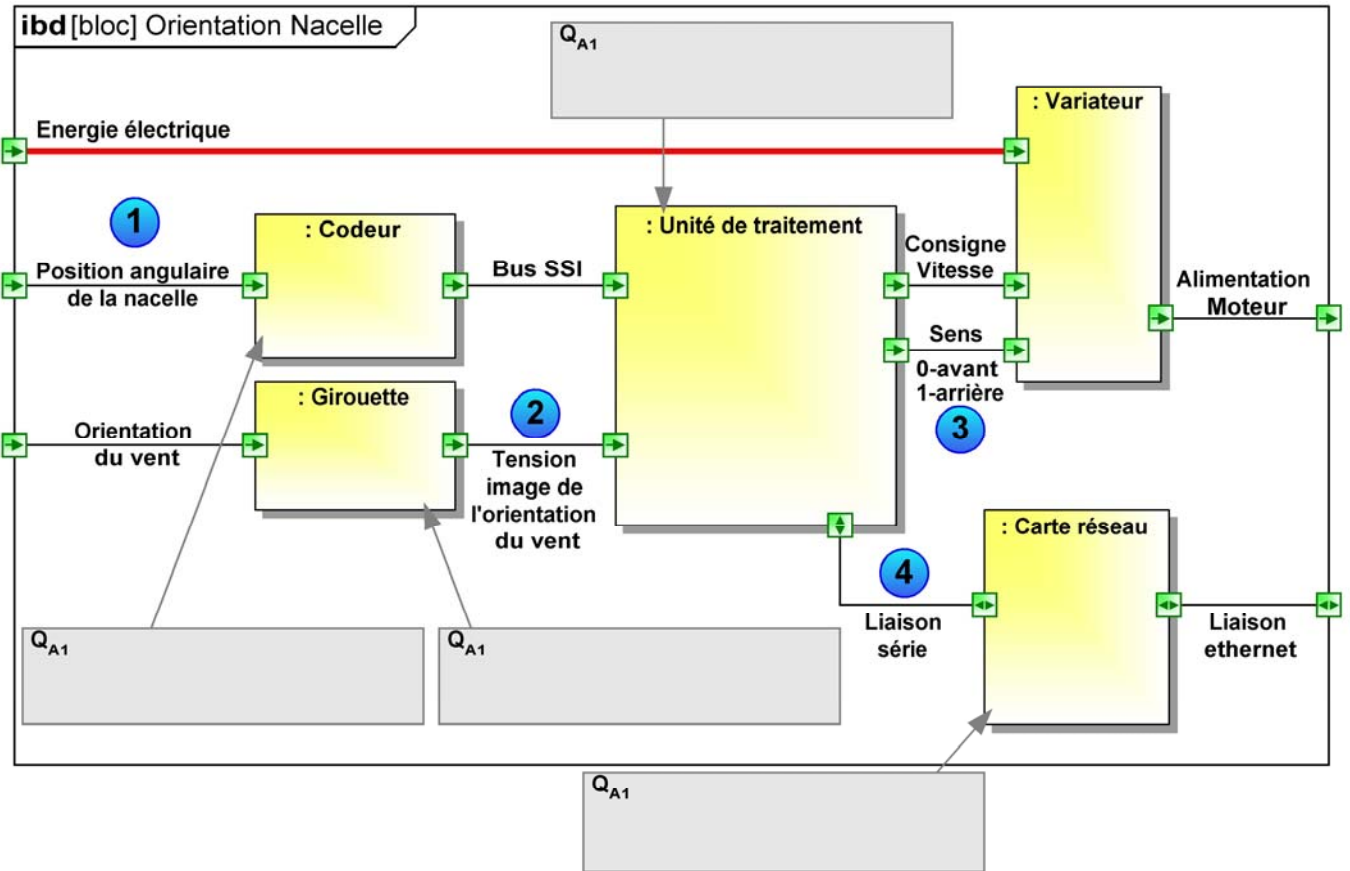
valeur du potentiomètre (%)



Est Nord Ouest Sud Est point cardinal

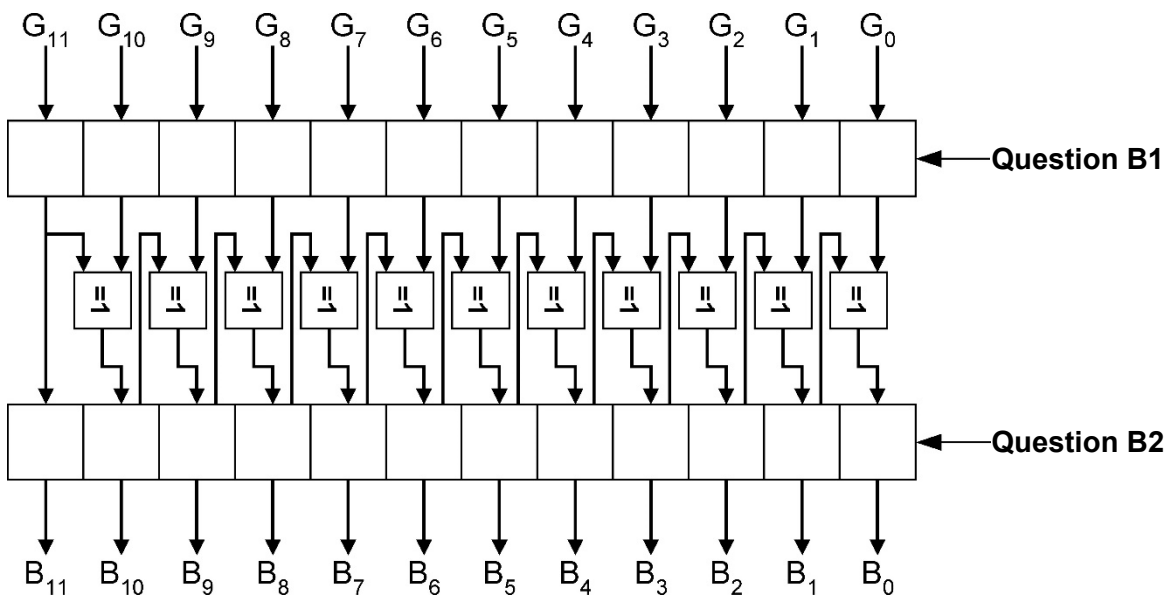
DRS1 : diagramme de blocs internes "Orientation de la nacelle"

Question A1, A2



DRS2 : logigramme conversion Gray ↔ Binaire

Question B1 et B2



DRS3 : code de la fonction Convertir

Question B3

```
mot binaire conversion_G_to_B(mot binaire : nbre_a_conv ) {

booléen tab_g[12] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}; // initialisation du tableau de 12 caractères
// booléens permettant de stocker le mot
// en code Gray
// le bit de poids fort est stocké en premier

booléen tab_b[12] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}; // initialisation du tableau de 12 caractères
// booléens permettant de stocker le mot en
// code binaire naturel
// le bit de poids fort est stocké en premier

// Début de la conversion
; //le bit de poids fort du mot binaire naturel est le même que le
//bit de poids fort du mot en code gray

// pour les 11 autres bits on effectue un "ou exclusif" entre le bit en cours et le bit résultat
// du "ou exclusif" précédent.

POUR ( ) {
    booléen memo = tab_b[i - 1]; // mémorisation du résultat du "ou exclusif" précédent dans
// la variable "memo".

; //ou exclusif ("^") entre la valeur du tableau tab_g
//à l'indice "i" et le résultat précédent ("memo")
//le résultat de l'opération est stocké dans le
//tableau tab_b à l'indice "i"
}

//on reforme le mot binaire à partir du tableau de données

POUR (octet i = 0; jusqu'à i < 12; par pas de 1) {
    ecrire_le_bit (nbre_bin, i, tab_b[11 - i]); // ecrire la valeur du bit d'indice i de la
// variable nbre_bin à la valeur du tableau
// tab_b
}
Retourner (nbre_bin);
}
```

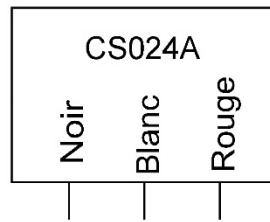
Question B.3

Question B.3

Question B.3

DRS4 : schéma de câblage du capteur CS024A

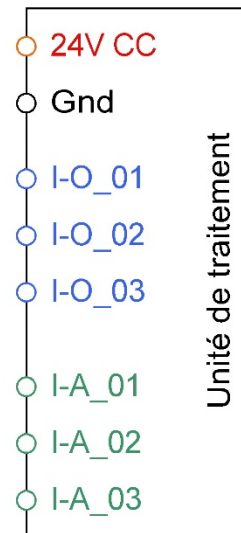
Question C.1



Légende :

I-O_.. → entrée ou sortie digitale

I_A_.. → entrée analogique



DRS5 : algorithme de rotation de la nacelle

Question C.2

