Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

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 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 règlementation 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 DT2	**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.

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 revente 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

DT3

DR3

Compléter le tableau des dépenses et recettes sur une année pour les cinq éoliennes.

Question 3.2

DT3

DR4

Représenter sur le graphique de viabilité financière les dépenses et les recettes en respectant la légende donnée.

Question 3.3

DT3

En déduire le nombre d'années nécessaire pour que l'installation devienne rentable.

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

DR5

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.

Question 4.2

DR5

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.

Question 4.3

DR5

Tracer en rouge le flux d'énergie principal en partant du vent vers le réseau électrique.

Tracer en vert les flux d'information.

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

Question 4.4

DR6

Placer ce point de fonctionnement sur la courbe de puissance.

En déduire la puissance disponible fournie par le vent Pv (en kW).

Question 4.5

DT4
DR5

Compléter la chaîne de puissance en précisant le rendement de chaque bloc dans les cases grisées.

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.

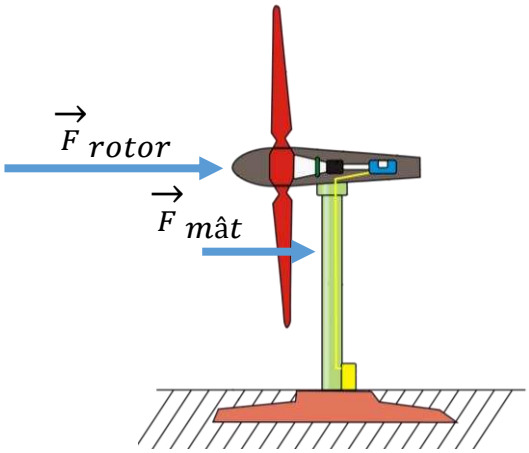
Le bureau d'études estime à 25 000 MW·h l'énergie électrique produite par la ferme éolienne pour une année.

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

DR7

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

- La limite élastique du matériau utilisé est R_e= 6,204·10^8 N·m^{-2} ;
- la contrainte maximale relevée dans le mât est σ_{max} = 7,056·10^7 N·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 $V_{cylindrique}$ = 34,7 m^3 ;
- solution 2 : une forme conique creuse dont le volume total de matière est $V_{conique}$ = 27,78 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 pouvoir 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 (DR8) | **Proposer** pour chaque éolienne une adresse IP du réseau local.

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 $tr \cdot min^{-1}$ 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 $tr \cdot min^{-1}$. La précision de mesure de vitesse nécessaire au fonctionnement de l'éolienne est de 0,1 $tr \cdot min^{-1}$.

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	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. C1.2 : aucune éolienne localisée dans des zones à enjeu écologique : zone naturelle remarquable, habitats européens, zones humides. C1.3 : emprise au sol supérieure par rapport au projet d'implantation N°2 (une éolienne supplémentaire). 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.	C1.5 : projet éolien avec une emprise limitée compatible avec les pratiques agricoles (exploite au maximum les chemins existants).	C1.6 : implantation des éoliennes sur une ligne Est-Ouest générant un impact visuel accru depuis les habitations de la commune au Sud-Est. C1.7 : implantation trop proche de la vallée de la Mâtre à l'Est.
Implantation N°2	5 éoliennes	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). C2.2 : aucune éolienne localisée dans des zones à enjeu écologique : zone naturelle remarquable, habitats européens, zones humides. C2.3 : emprise au sol réduite par rapport au projet d'implantation N°1 (une éolienne en moins). 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.	C2.5 : projet éolien avec une emprise limitée compatible avec les pratiques agricoles (exploite au maximum les chemins existants)	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. C2.7 : implantation plus éloignée de la vallée de la Mâtre au Nord.

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

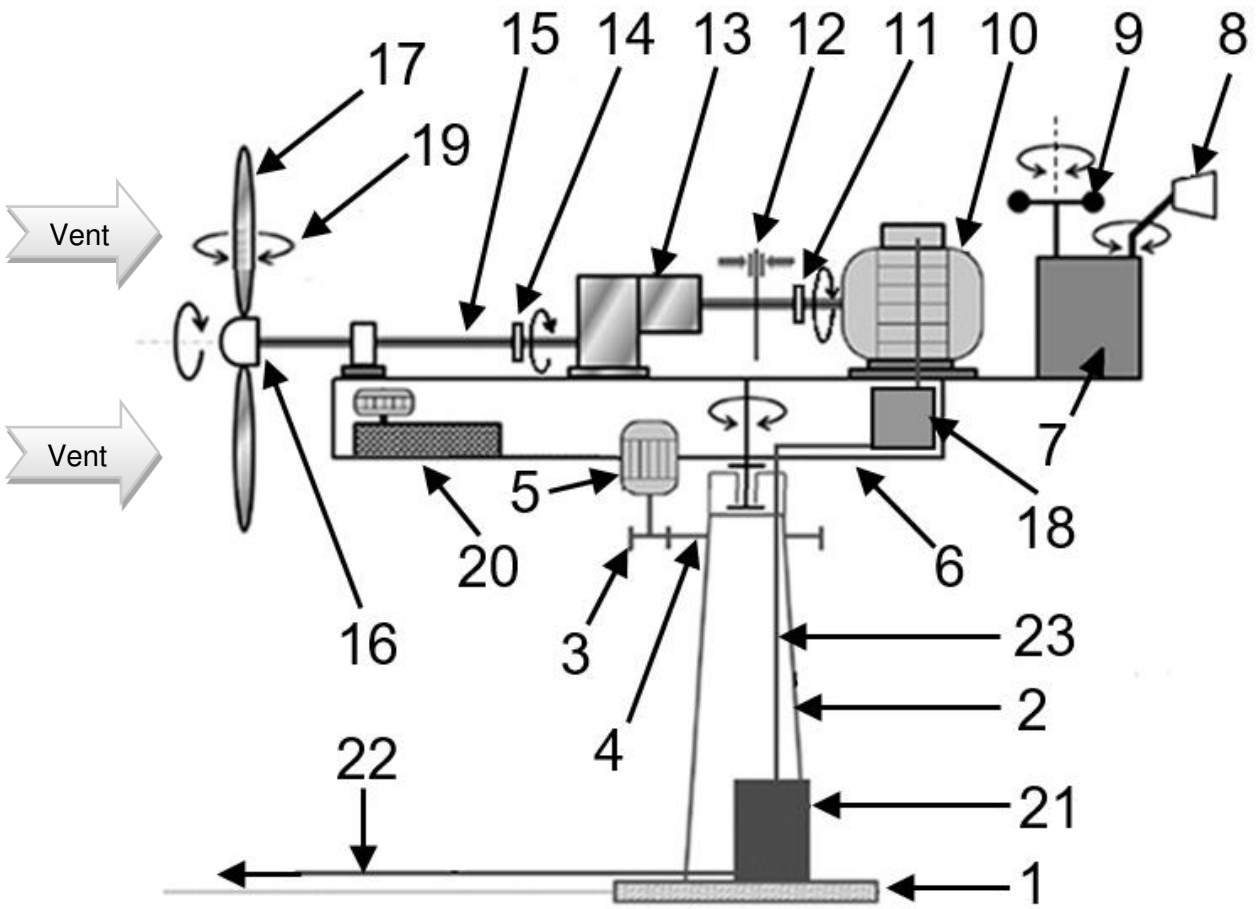
DT2 : facteur de charge (fc) pour la région Auvergne Rhône-Alpes

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

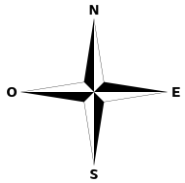
Légende utile

▮ ▬ : habitations

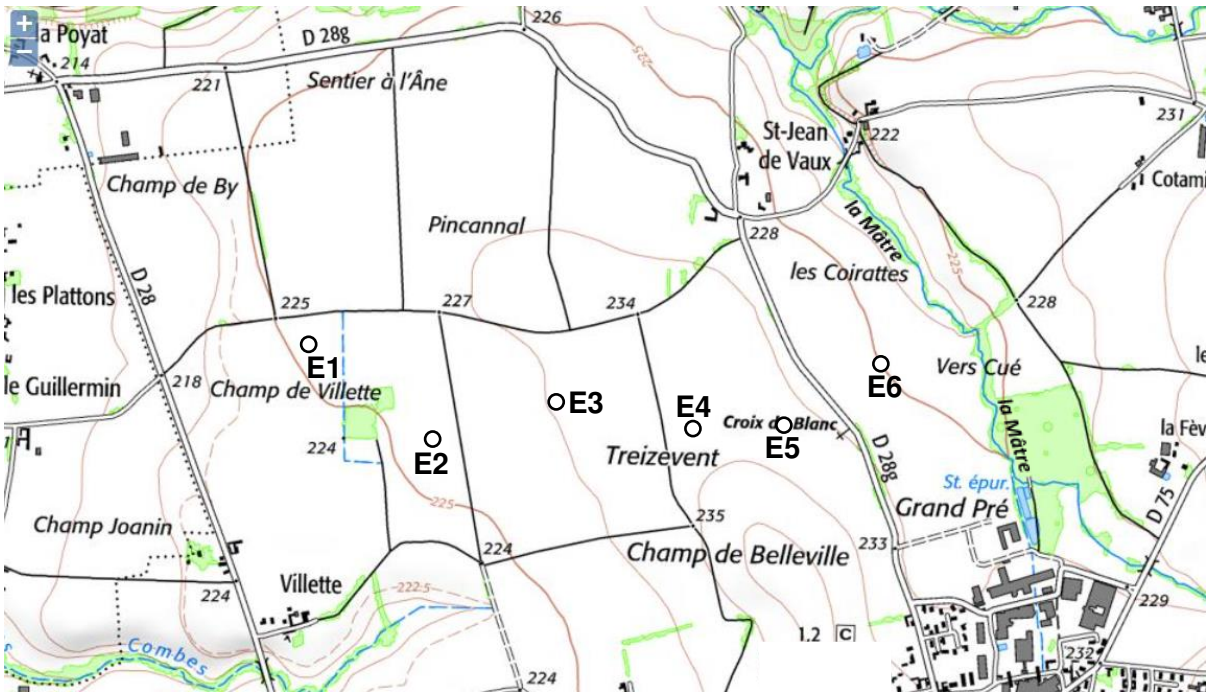
○ : éolienne

Échelle des plans

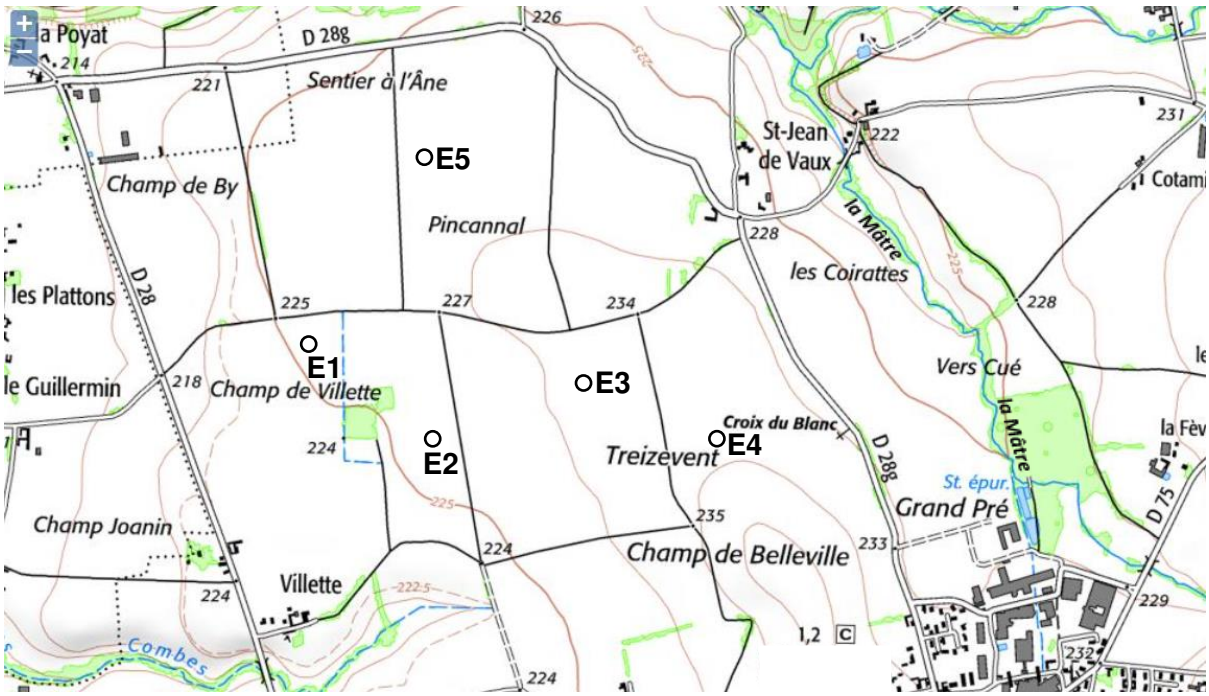
200m



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)



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

DR2 : analyse des deux projets

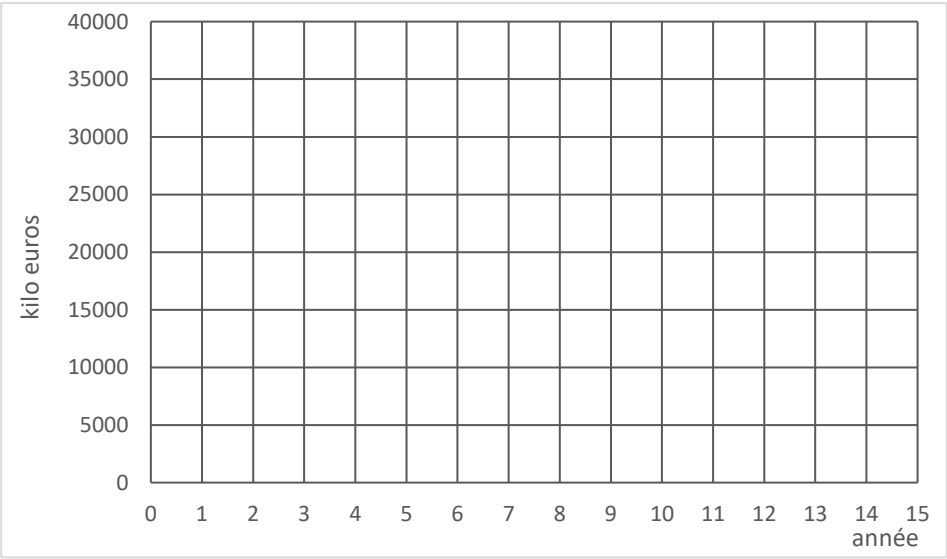
Critères Projet N°1	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7	**Total**
Pondération								

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 €

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

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

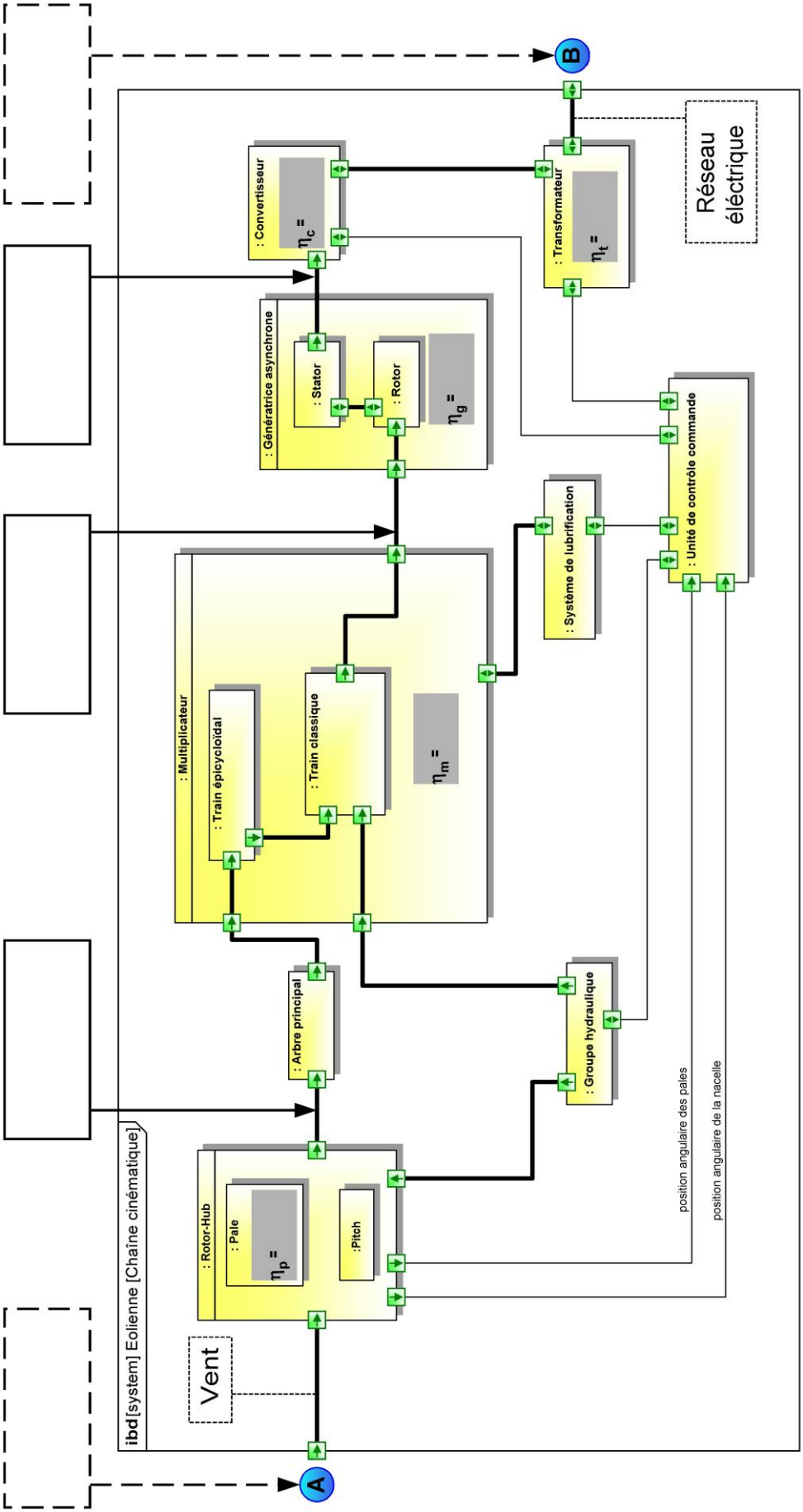
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

DR5 : diagramme des blocs internes (ibd)



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

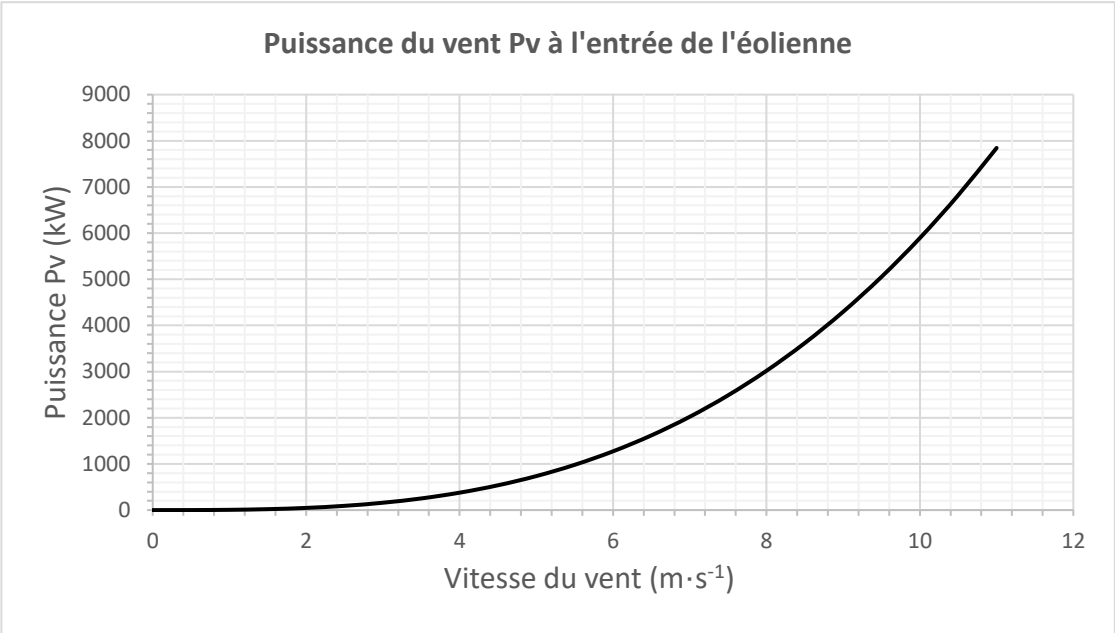
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

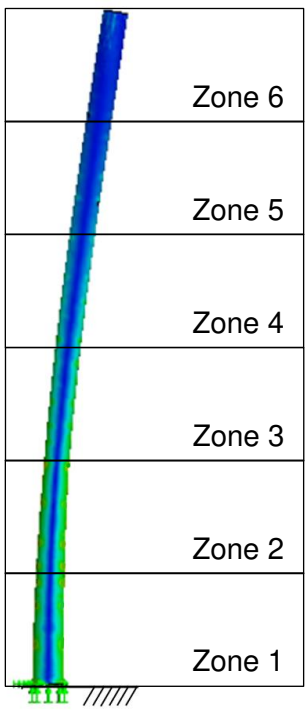
DR6 : courbe de puissance du vent

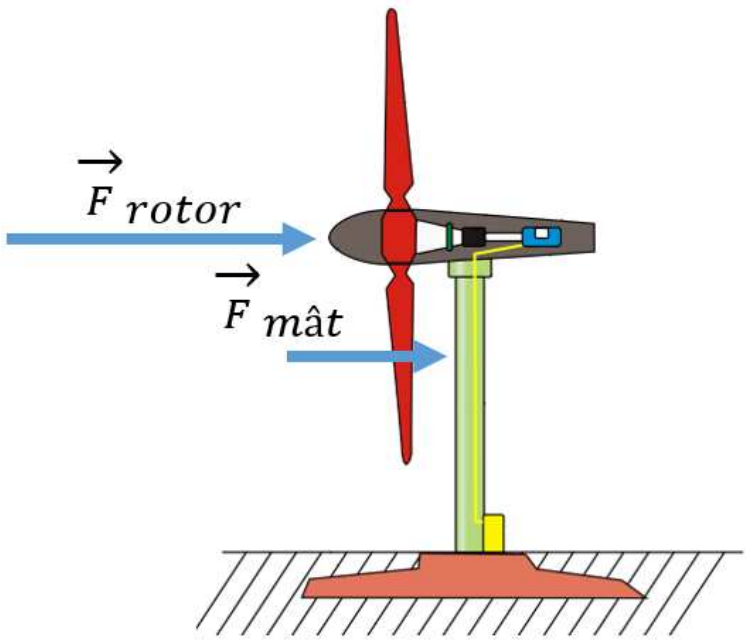


DR7 : résistance du mât seul

Zone la plus sollicitée

Simulation du mât isolé





Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

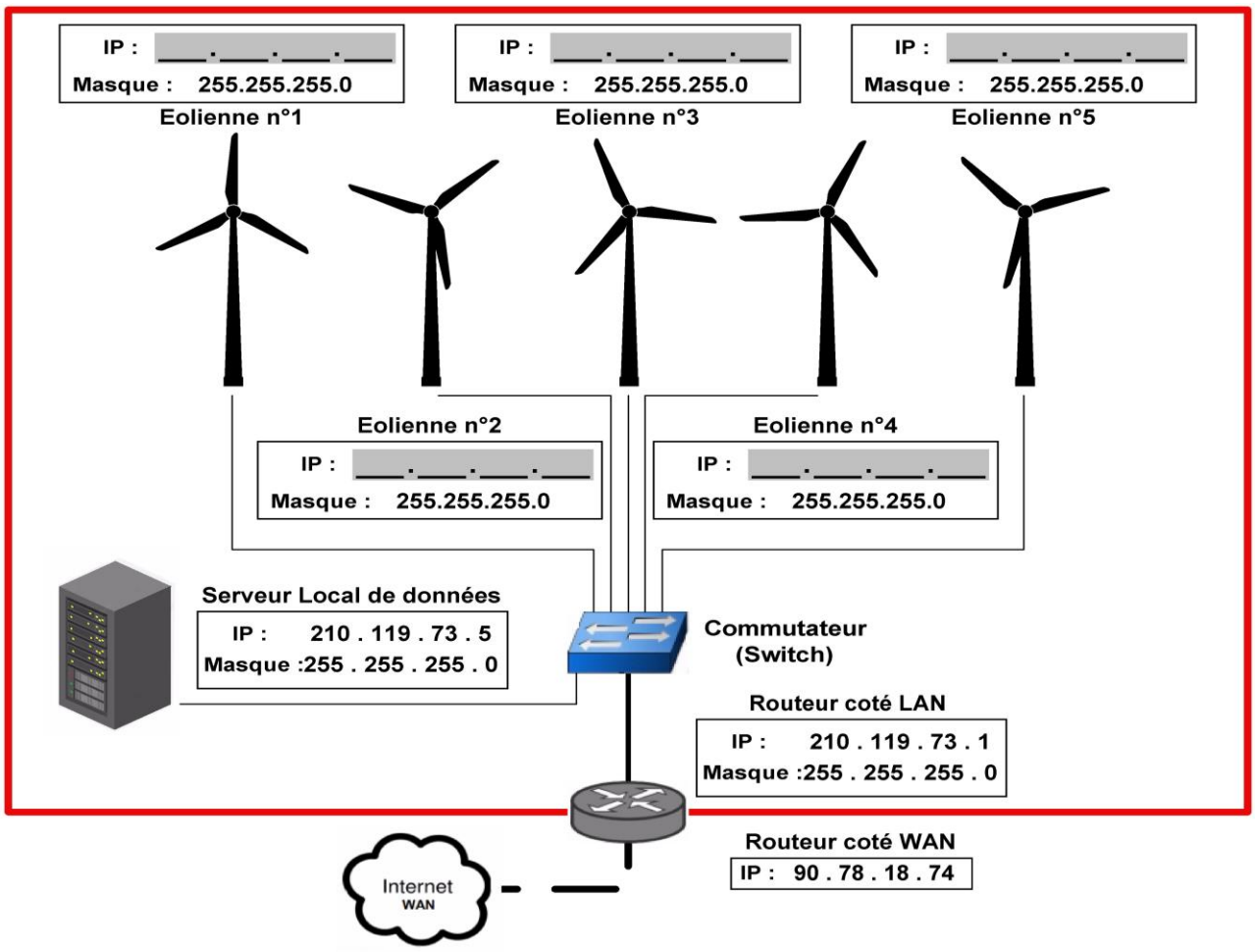
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

DR8 : réseau local (LAN) site d'éoliennes



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

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 questionnement ..... 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 $km \cdot h^{-1}$. 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

DTS1

DRS1

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

Question A.3

DTS1

DRS2

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 $T_{M \in pale/nacelle}$. **Préciser** la valeur du rayon R en mètre.

Question A.4

DRS2

Calculer la vitesse tangentielle V_t du point M en bout de pale et **tracer** ce vecteur $\overrightarrow{V_t}$. En **déduire** la valeur en $km \cdot h^{-1}$.

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) :

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

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

DTS1

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

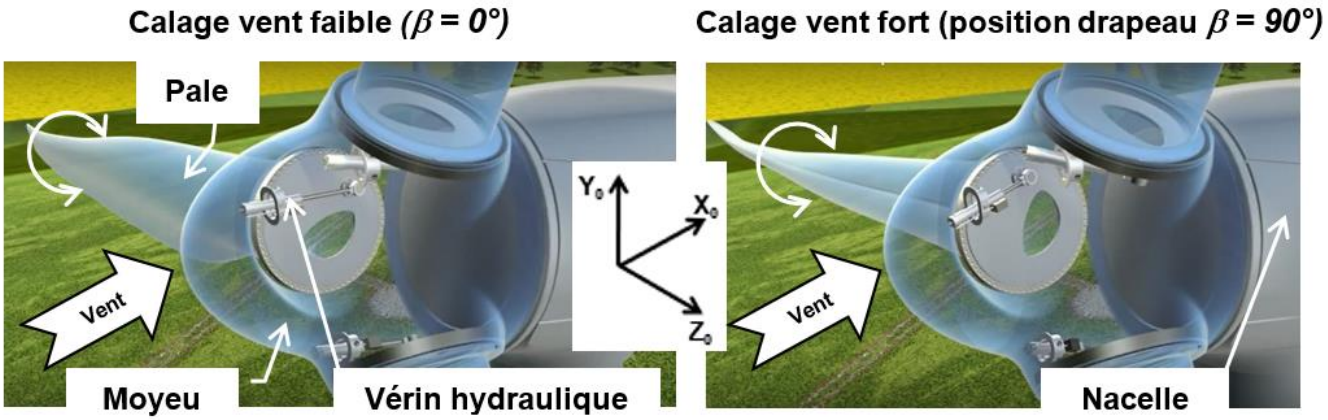
Question A.6

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.

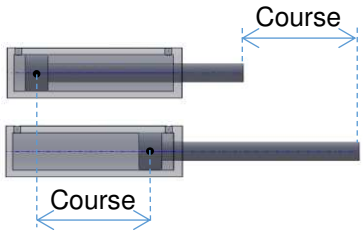


PARTIE B : les composants hydrauliques du dispositif de calage sont-ils correctement dimensionnés ?

Comment garantir une plage de réglage de 90° ?

Question B.1 DTS1	**Déterminer** la valeur de l'angle de calage β pour les vitesses de vent suivantes : • vitesse de démarrage • vitesse de coupure
Question B.2 DTS2 DRS3	**Compléter** le graphe des liaisons en indiquant le nom, l'axe et le centre (point) pour chaque liaison.
Question B.3 DRS4	On donne la mise en plan de la position tige sortie du vérin hydraulique (angle de calage β = 0°). Sur cette même mise en plan, **tracer**, pour un angle de calage β = 90°, les points D' et B' qui correspondent à la position du vérin lorsque la tige est rentrée.

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 ?

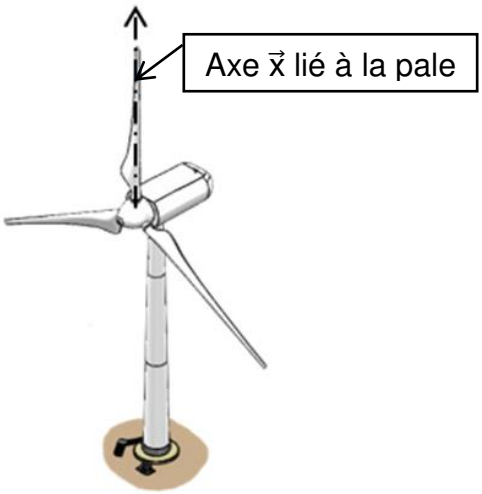
La documentation technique du vérin indique que l'effort maximum exercé par la tige du vérin doit être au maximum égale à 110 kN.

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 $N \cdot mm^{-2}$
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_{maxi} = 13,2 tr·min^{-1}.
Dans ces conditions, en isolant la pale, le théorème de la résultante se traduit par l'équation suivante :



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

On prendra g = 9,81 m·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.

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

Avec :

- m : masse de la pale en kg
- R : rayon OG = 15,4 m
- ω_{maxi} : vitesse angulaire maximum en rad·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 ou l'effort axial $\vec{E}_{moyeu/pale}$ 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.

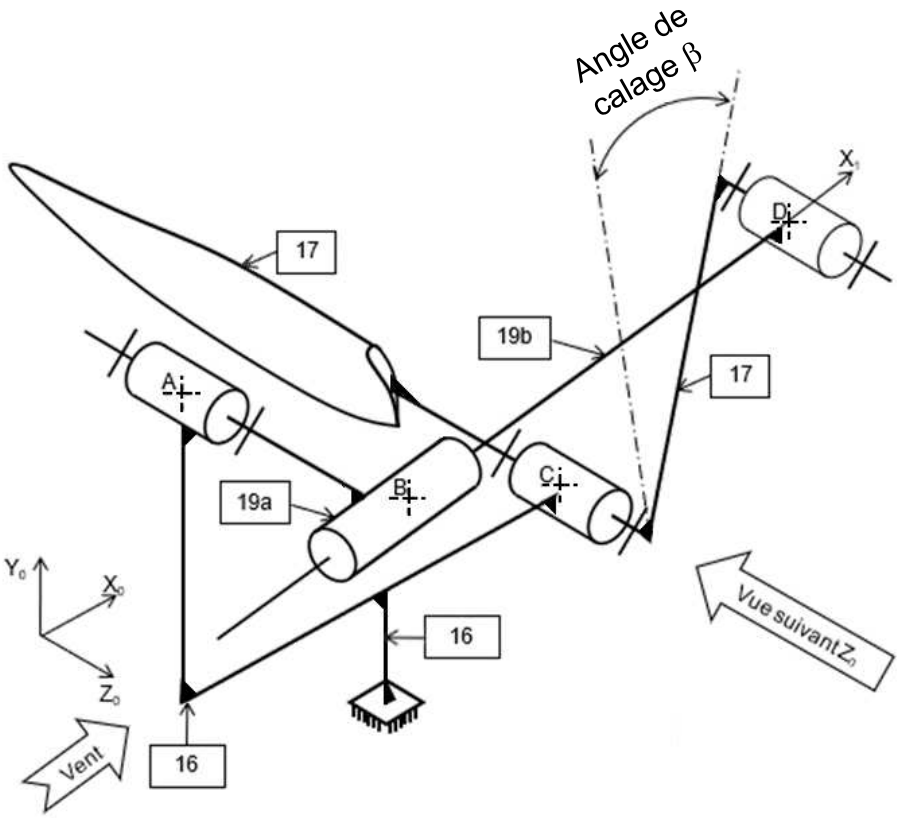
DTS1 : caractéristiques de l'éolienne N117 – 2,4 MW



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 $tr \cdot min^{-1}$
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 $m \cdot s^{-1}$
Vitesse de vent nominale	11 $m \cdot s^{-1}$
Vitesse de vent de coupure	20 $m \cdot s^{-1}$

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	…	/	…	/	…	/	…

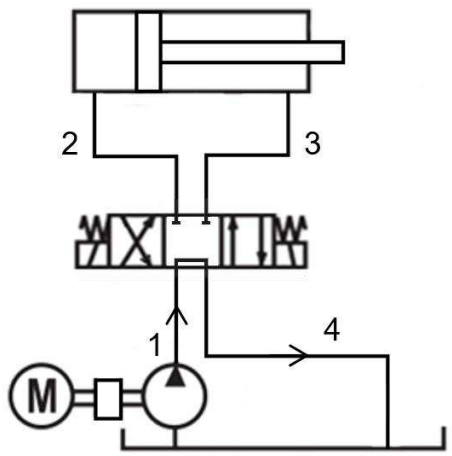
01	Vérin différentiel	CD
02	Série	H2

Type de fixation

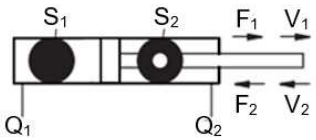
03	Tenon fixe sur le fond	MP3
	Tenon à rotule sur le fond	MP5
	Bride circulaire sur la tête	MF3
	Bride circulaire sur le fond	MF4
	Tourillon	MT4
	Fixation des pattes	MS2
04	Diamètre du piston en mm	…
05	Diamètre de la tige en mm	…
06	Longueur de course en mm	…

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)

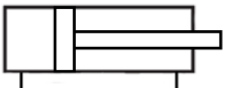


Notations retenues pour le vérin hydraulique



Symbolisation hydraulique

Vérin double effet :



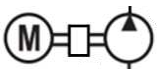
Il produit une force de poussée ou de traction grâce à la pression de l'huile exercée d'un côté ou de l'autre du piston.

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.

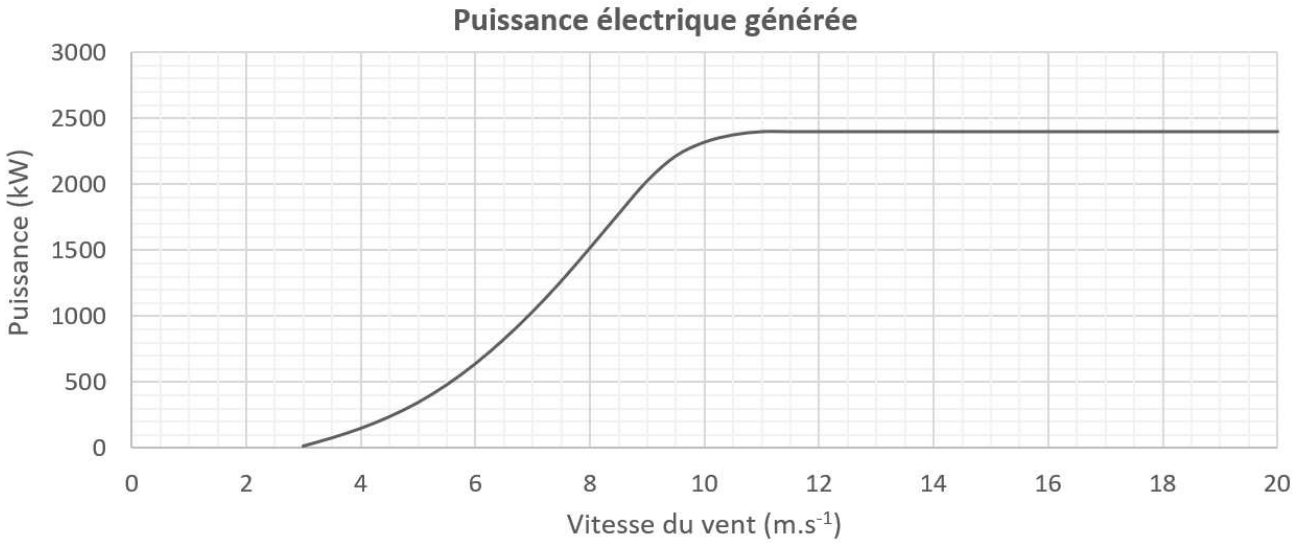
Réservoir d'huile :



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

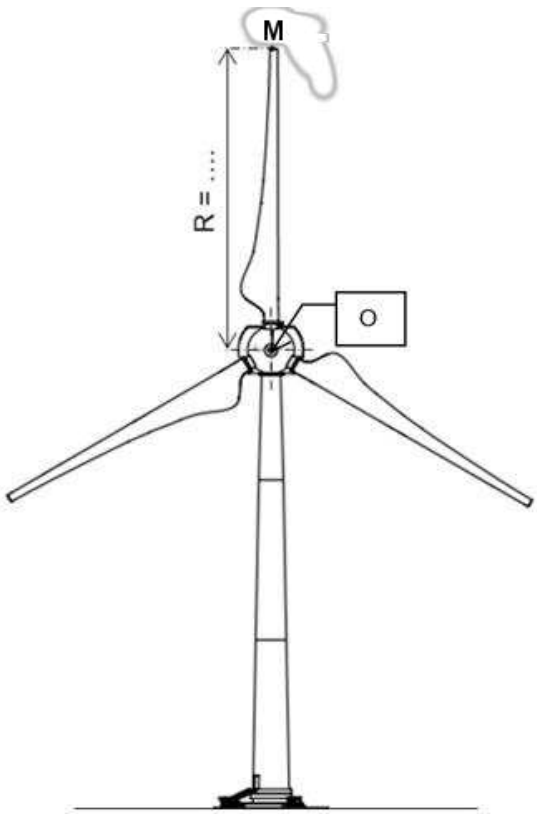
S : surface du piston soumise à la pression d'huile (surface identifiable en noir)
F : force en bout de tige
V : vitesse de tige
Q : débit d'huile

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 :

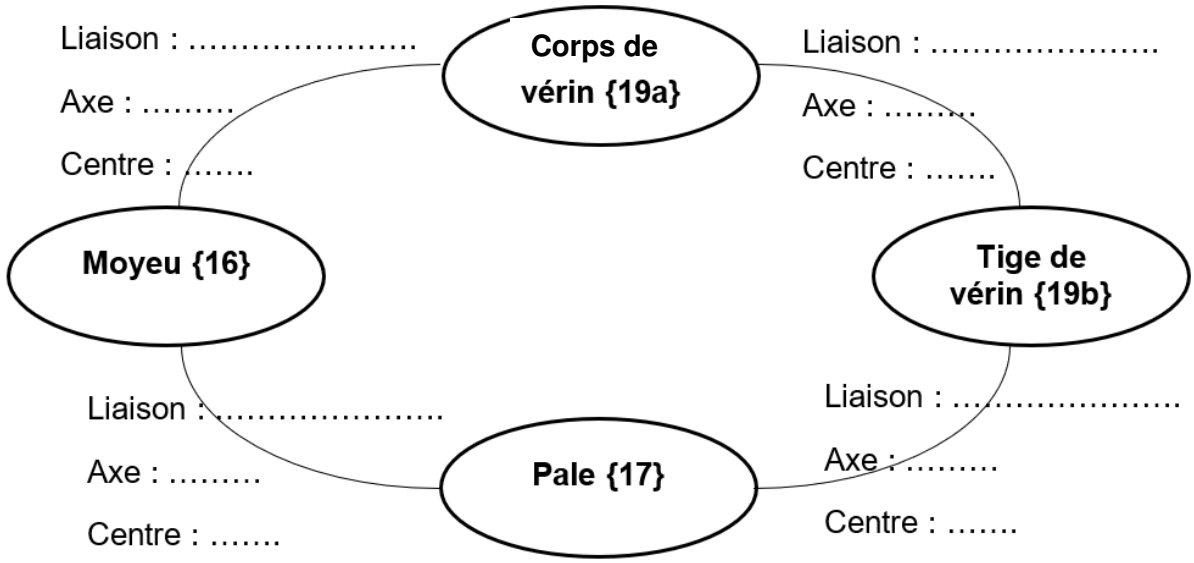
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

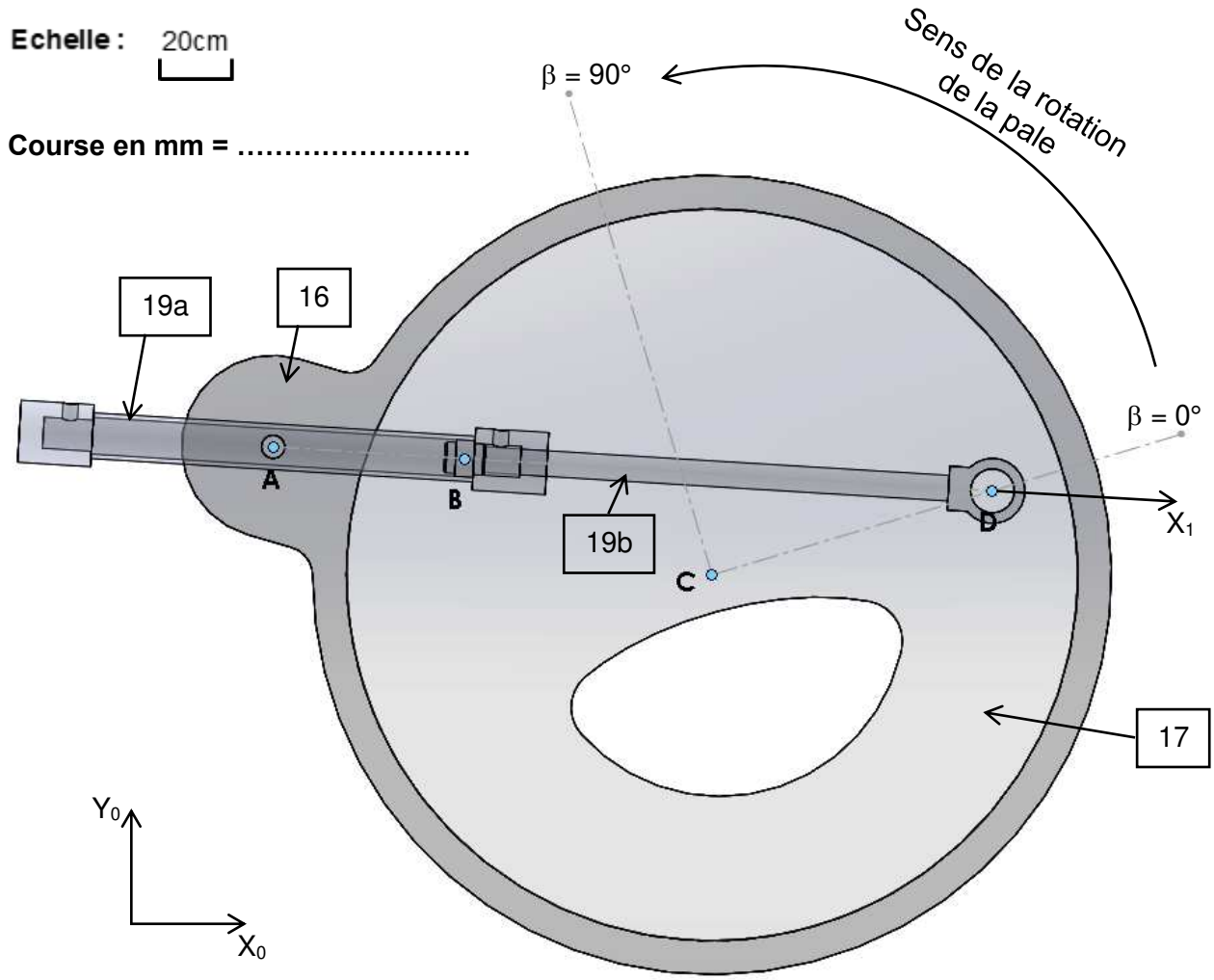
Né(e) le : / /

1.2

DRS3 : graphe des liaisons du pitch control



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



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

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

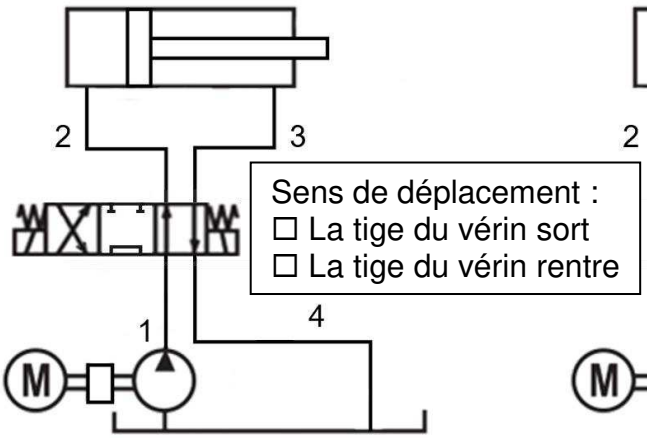
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

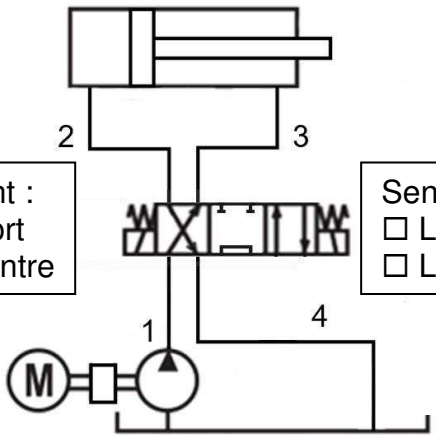
DRS5 : positions du distributeur et flux hydraulique

Position N°1



Sens de déplacement :
☐ La tige du vérin sort
☐ La tige du vérin rentre

Position N°2

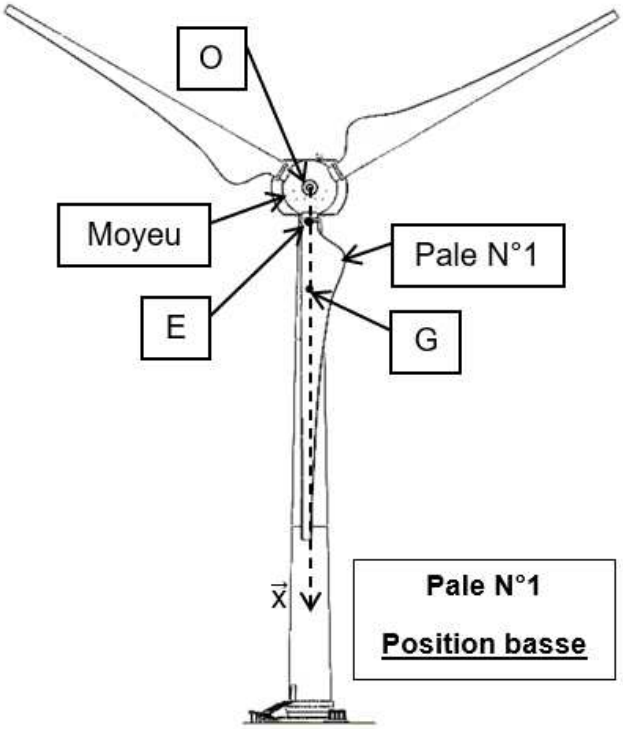


Sens de déplacement :
☐ La tige du vérin sort
☐ La tige du vérin rentre

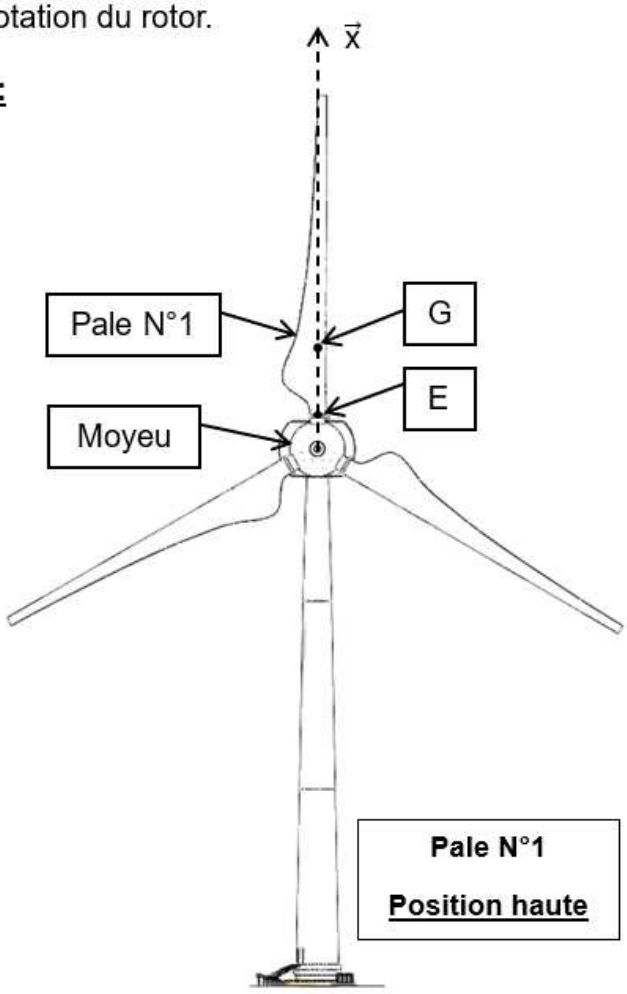
DRS6 : efforts sur une pale

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



Pale N°1
Position basse



Pale N°1
Position haute

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.