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 :
formav.co/explorer

BAC STI2D • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Bac STI2D

Innovation technologique et éco-conception

Session 2025 • Code sujet : **25-2D2IDITECME1** • Durée : **4 heures**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Choix du lieu d'implantation des éoliennes** (3 questions) — **Page 3**
2. **Production électrique et besoins des communes** (3 questions) — **Page 6**
3. **Viabilité financière du projet** (3 questions) — **Page 8**
4. **Chaînes d'énergie et adéquation de la production** (7 questions) — **Page 10**
5. **Résistance mécanique et impact environnemental du mât** (6 questions) — **Page 14**
6. **Surveillance à distance et réseau local des éoliennes** (4 questions) — **Page 16**
7. **Vitesse de rotation et vitesse en bout de pale** (6 questions) — **Page 18**
8. **Dimensionnement hydraulique du dispositif de calage des pales** (9 questions) — **Page 22**
9. **Résistance de la liaison entre le moyeu et la pale** (4 questions) — **Page 26**
10. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 29**

Sujet officiel (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2025/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2025 - 7-Sujet.pdf

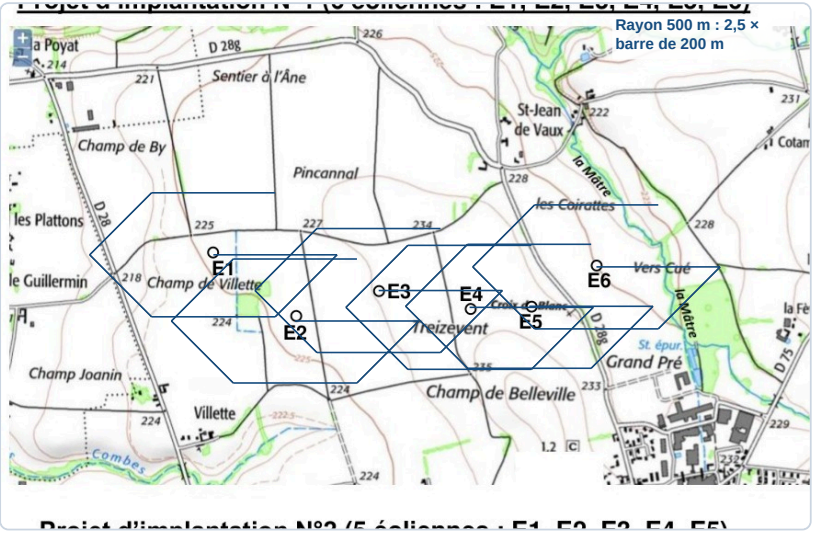
1. Choix du lieu d’implantation des éoliennes

L’étude compare deux implantations de ferme éolienne au regard des habitations, des milieux naturels, des activités humaines et du paysage. La réglementation impose une distance minimale de 500 m entre une éolienne et une habitation.

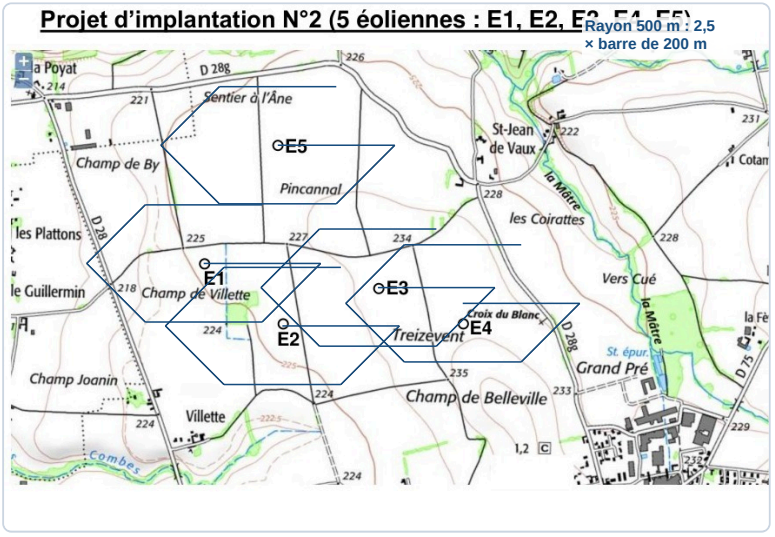
Question 1.1. Tracer sur le schéma d’implantation la distance minimale imposée à chaque éolienne des projets 1 et 2, puis justifier que la réglementation est respectée.

Le plan indique une échelle de 200 m. Le recul réglementaire de 500 m correspond donc à 2,5 fois la barre d’échelle. Les périmètres tracés autour de chaque éolienne ne contiennent aucun symbole d’habitation : la distance minimale est respectée dans les deux projets.

Projet 1 : recul réglementaire de 500 m



Projet 2 : recul réglementaire de 500 m



✓ RÉPONSE À RETENIR

Projets 1 et 2 conformes : aucune habitation n’est située à moins de 500 m d’une éolienne.

Question 1.2. À partir du bilan des critères d'impact, compléter les tableaux d'analyse des deux projets en indiquant +1 pour un critère favorable et -1 pour un critère défavorable, puis calculer les totaux.

Dans le tableau, chaque critère est évalué selon son effet favorable ou défavorable, d'après le bilan DT1. Le total est la somme des sept pondérations :

Projet	Critères, dans l'ordre	Total
1	-1 ; +1 ; -1 ; -1 ; +1 ; -1 ; -1	-3
2	+1 ; +1 ; +1 ; +1 ; +1 ; +1 ; +1	+7

Le bilan distingue ainsi nettement les deux implantations : le projet 2 n'a aucun critère défavorable dans la grille fournie.

Tableau DR2 complété

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

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

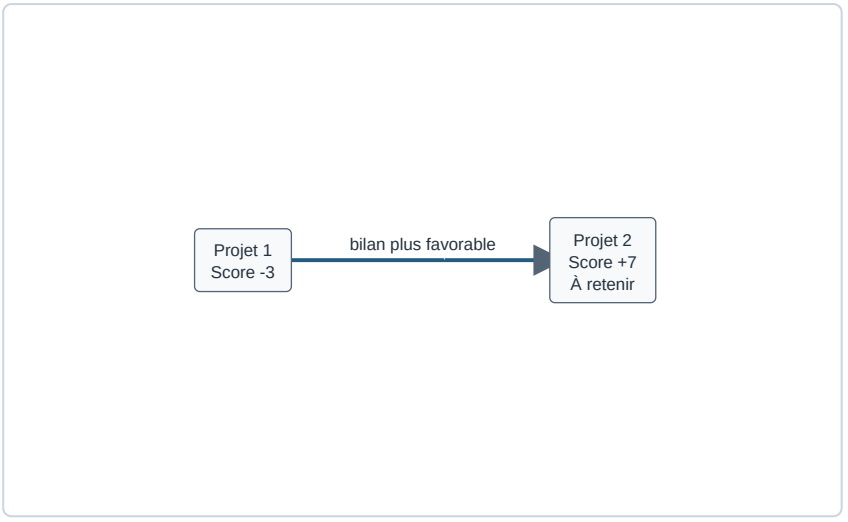
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Projet 1 : total -3. Projet 2 : total +7, bilan pondéré nettement favorable au projet 2.

Question 1.3. À partir des questions précédentes, conclure et justifier le choix du projet d'implantation le plus pertinent.

Le projet 2 est le plus pertinent : il respecte le recul réglementaire et obtient un total de +7, contre -3 pour le projet 1. Il réduit l'effet barrière et les risques de collision pour l'avifaune, l'emprise au sol et la proximité des zones humides. Sa disposition moins longue, avec une éolienne décalée au Nord, limite aussi l'impact visuel sur les habitations du Sud-Est.

Comparaison des bilans d’impact



Les deux projets respectent le recul minimal de 500 m.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Retenir le projet 2 : il respecte la réglementation et présente le bilan environnemental et paysager le plus favorable.

2. Production électrique et besoins des communes

Le projet envisagé comprend cinq éoliennes identiques d'une puissance nominale de 2,4 MW chacune, et utilise le facteur de charge régional de l'éolien. La production est comparée à la consommation électrique annuelle moyenne d'un foyer et aux besoins des 7 000 foyers des communes environnantes.

Question 2.1. Calculer, en MW·h, l'énergie électrique produite en une année par l'ensemble des cinq éoliennes en tenant compte du facteur de charge.

La puissance nominale totale du parc est de 5 × 2,4 = 12 MW. Une année compte 365 × 24 = 8 760 h : à puissance nominale, les cinq éoliennes produiraient 12 × 8 760 MWh. Le facteur de charge éolien indiqué dans le DT2 est de 22 %. L'énergie réellement produite est donc l'énergie nominale multipliée par 0,22, soit 12 × 8 760 × 0,22 = 23 126,4 MW·h.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **23 126,4 MW·h par an**

Question 2.2. Calculer le nombre de foyers dont les besoins annuels en électricité peuvent être couverts par les éoliennes, hors eau chaude sanitaire et chauffage.

Donnée	Conversion ou valeur
Production annuelle du parc	23 126,4 MW·h
Consommation annuelle par foyer	3 200 kW·h = 3,2 MW·h
Foyers alimentés	23 126,4 ÷ 3,2 = 7 227

La production permet de couvrir la consommation électrique annuelle moyenne de 7 227 foyers, hors chauffage et eau chaude sanitaire. Le résultat est un nombre entier de foyers.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **7 227 foyers**

Question 2.3. Justifier l'intérêt du projet au regard des enjeux climatiques.

La ferme produit l'équivalent de la consommation électrique annuelle moyenne de 7 227 foyers, alors que les communes en comptent 7 000. Elle peut donc couvrir leur besoin annuel considéré, avec une marge de 227 foyers équivalents.

- La production éolienne est renouvelable et contribue à la transition énergétique.
- Elle peut réduire le recours à des moyens de production utilisant des énergies fossiles et leurs émissions de gaz à effet de serre.
- Sa production varie avec le vent : l'équivalence annuelle ne garantit pas une alimentation constante à chaque instant.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le projet couvre l’équivalent des besoins annuels des 7 000 foyers et contribue à la production d’électricité renouvelable.

3. Viabilité financière du projet

L'étude financière porte sur les dépenses d'investissement et de maintenance de la ferme de cinq éoliennes, ainsi que sur les recettes de vente d'électricité. Les données précisent le coût par kilowatt installé, le coût annuel de maintenance, le prix de rachat de l'énergie et la durée de vie de l'installation.

Question 3.1. Compléter le tableau des dépenses et des recettes sur une année pour les cinq éoliennes.

Les cinq éoliennes représentent 12 MW installés. L'investissement est calculé à 1 500 € par kW, puis la maintenance annuelle à 3 % de cet investissement. Les recettes annuelles utilisent la production estimée de 25 000 MW·h et le prix de rachat de 100 € par MW·h. Les montants sont convertis en k€ pour compléter le tableau.

Dépense ou recette sur un an	Montant
Investissement	18 000 k€
Maintenance	540 k€
Recettes	2 500 k€

DR3 complété : dépenses et recettes

Pour la ferme de cinq éoliennes sur 1 an		
Dépenses		Recettes
Investissement	Maintenance	
18 000 k€	540 k€	2 500 k€

✓ RÉPONSE À RETENIR

Investissement : 18 000 k€ ; maintenance annuelle : 540 k€ ; recettes annuelles : 2 500 k€.

Question 3.2. Représenter sur le graphique de viabilité financière les dépenses et les recettes en respectant la légende donnée.

Les recettes cumulées augmentent de 2 500 k€ par an : tracer la droite de (0 ; 0) à (15 ; 37 500). Les dépenses cumulées comprennent l'investissement initial de 18 000 k€ et la maintenance de 540 k€ par an : tracer la droite en pointillés de (0 ; 18 000) à (15 ; 26 100). Respecter les styles de trait indiqués dans la légende du DR4.

DR4 complété : dépenses et recettes cumulées



✓ RÉPONSE À RETENIR

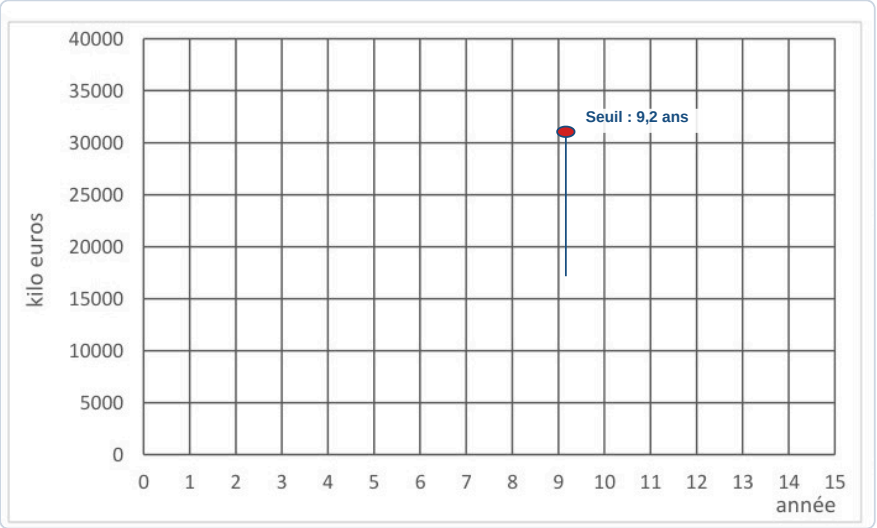
Recettes : (0 ; 0) à (15 ; 37 500 k€). Dépenses : (0 ; 18 000 k€) à (15 ; 26 100 k€).

Question 3.3. Déduire le nombre d'années nécessaire pour que l'installation devienne rentable, puis conclure sur la validité financière du projet.

À la rentabilité, les recettes cumulées égalent les dépenses cumulées : **2 500t = 18 000 + 540t**. Ainsi, **t = 18 000 ÷ (2 500 − 540) ≈ 9,18 ans**.

La rentabilité est atteinte au cours de la 10e année. Comme la durée de vie prévue est de 25 ans, le projet est financièrement viable selon ces estimations.

DR4 : seuil de rentabilité



✓ RÉPONSE À RETENIR

Rentabilité après environ 9,2 ans, au cours de la 10e année. Projet viable sur 25 ans.

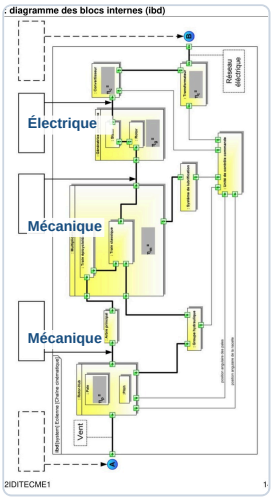
4. Chaînes d’énergie et adéquation de la production

Le système étudié est une éolienne comprenant une chaîne cinématique, une génératrice, des équipements électriques et des dispositifs de commande. Le candidat analyse les formes et les flux d’énergie, la puissance du vent, les rendements des composants et l’énergie annuelle produite.

Question 4.1. Compléter les étiquettes en traits pleins à la sortie de chaque élément du diagramme des blocs internes en choisissant parmi les formes d’énergie chimique, nucléaire, mécanique, thermique, rayonnante et électrique.

Dans le rotor et la transmission, l’énergie reste mécanique : les pales la transmettent à l’arbre lent puis au multiplicateur. La génératrice convertit ensuite l’énergie mécanique en énergie électrique. Cette énergie électrique est transmise par le convertisseur et le transformateur jusqu’au réseau. Les étiquettes indiquent la forme de l’énergie utile dans la chaîne principale, sans représenter les pertes thermiques des composants.

Formes d’énergie dans la chaîne



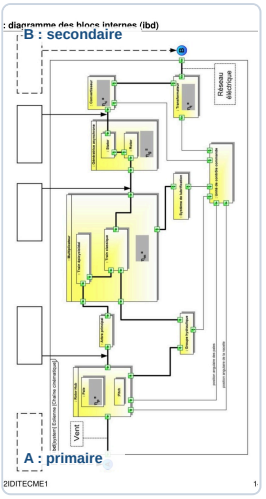
✓ RÉPONSE À RETENIR

Rotor et transmission : mécanique. Génératrice, convertisseur et transformateur : électrique.

Question 4.2. Qualifier la nature de l’énergie aux points A et B du diagramme des blocs internes en choisissant parmi les catégories primaire, secondaire, finale et utile.

Au point A, l’énergie du vent est disponible dans la nature avant sa conversion par l’éolienne : c’est une énergie primaire. Au point B, l’énergie électrique a été produite et injectée dans le réseau : c’est une énergie secondaire. Elle ne devient une énergie finale qu’une fois livrée à l’utilisateur, puis une énergie utile après sa conversion par un équipement.

Nature de l’énergie aux points A et B



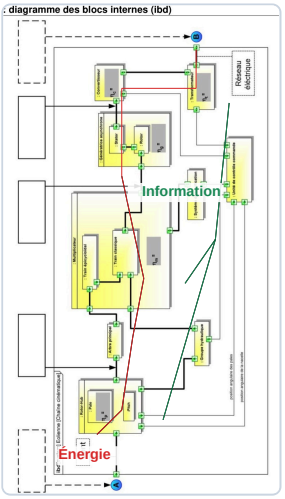
✓ RÉPONSE À RETENIR

A : énergie primaire. B : énergie secondaire.

Question 4.3. Tracer en rouge le flux d’énergie principal depuis le vent jusqu’au réseau électrique, puis tracer en vert les flux d’information.

Le flux énergétique principal suit la chaîne de conversion, du vent au rotor, puis à la transmission mécanique, à la génératrice, au convertisseur et au transformateur jusqu’au réseau. En vert, les flux d’information relient les capteurs, notamment l’anémomètre et la girouette, à l’unité de commande. Celle-ci envoie les ordres aux actionneurs de calage des pales et d’orientation de la nacelle.

Flux d’énergie et d’information



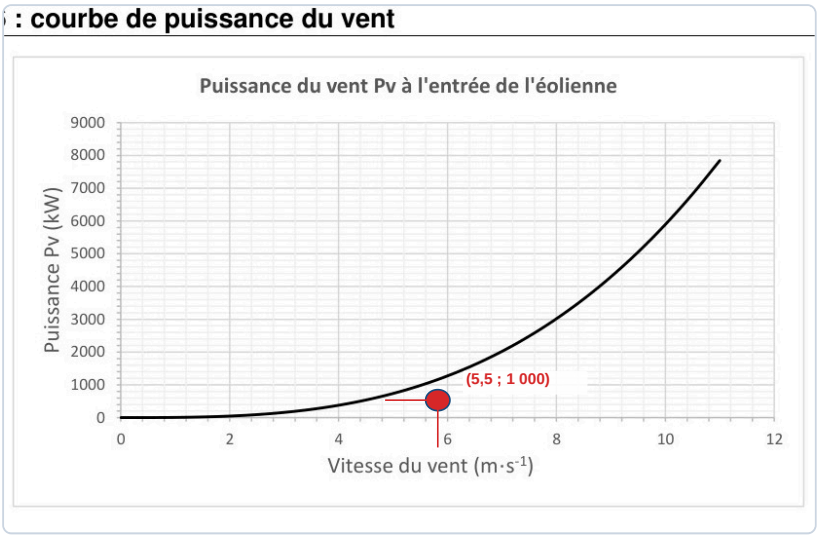
✓ RÉPONSE À RETENIR

Rouge : énergie du vent vers le réseau. Vert : capteurs vers commande, puis commande vers actionneurs.

Question 4.4. Placer sur la courbe de puissance le point correspondant à la vitesse moyenne du vent de 5,5 m·s⁻¹, puis en déduire la puissance disponible du vent Pv en kW.

Sur la courbe DR6, placer la vitesse moyenne de 5,5 m·s⁻¹ en abscisse et lire la puissance correspondante en ordonnée. La lecture graphique donne environ 1 000 kW. Il s'agit de la puissance disponible dans le vent à l'entrée de l'éolienne, et non de la puissance électrique délivrée par la génératrice.

Point de fonctionnement à 5,5 m·s⁻¹



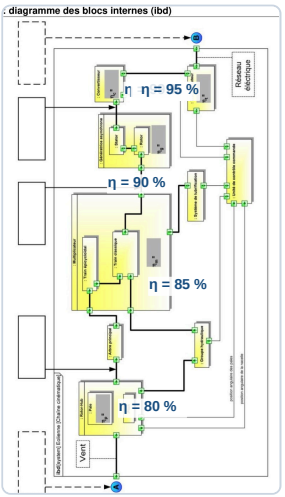
✓ RÉPONSE À RETENIR

À 5,5 m·s⁻¹, la puissance disponible lue sur la courbe est d'environ 1 000 kW.

Question 4.5. Compléter la chaîne de puissance en indiquant le rendement de chaque bloc dans les cases grisées.

Les rendements à inscrire dans les cases de la chaîne de puissance sont indiqués dans le synoptique DT4. Les pales transmettent l'énergie mécanique avec un rendement de 80 %, le multiplicateur de vitesse avec 85 %, puis la génératrice convertit l'énergie avec 90 %. En aval, le convertisseur a un rendement de 99 % et le transformateur de 95 %. Aucun rendement n'est fourni pour les autres blocs.

Rendements des composants



✓ RÉPONSE À RETENIR

Pales : 80 % ; multiplicateur : 85 % ; génératrice : 90 % ; convertisseur : 99 % ; transformateur : 95 %.

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

Le rendement global est le produit des rendements successifs : $\eta = 0{,}80 \times 0{,}85 \times 0{,}90 \times 0{,}99 \times 0{,}95 = 0{,}575586$. Avec une puissance moyenne du vent de 1 MW, la puissance électrique moyenne vaut 0,575586 MW. Une année compte $365 \times 24 = 8\,760$ h ; l'énergie annuelle par éolienne est donc $0{,}575586 \times 8\,760$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Rendement global : 57,6 %. Énergie annuelle par éolienne : environ 5 042 MWh.

Question 4.7. Conclure sur l'estimation du bureau d'études de 25 000 MW·h d'énergie électrique produite par an pour le parc de cinq éoliennes.

Pour cinq éoliennes, la production annuelle calculée avec le rendement global et la puissance moyenne du vent de 1 MW par éolienne est d'environ 25 211 MWh. Cette valeur est très proche des 25 000 MWh estimés par le bureau d'études : l'écart est inférieur à 1 %. L'estimation est donc cohérente avec les hypothèses retenues, sous réserve de leur validité pour l'ensemble de l'année.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Production calculée : environ 25 211 MWh/an pour cinq éoliennes. L'estimation de 25 000 MWh/an est cohérente.

5. Résistance mécanique et impact environnemental du mât

L'étude examine la résistance du mât d'éolienne aux efforts aérodynamiques horizontaux exercés par le vent. Elle compare la contrainte maximale à la limite élastique du matériau, puis évalue des pistes d'optimisation et le gain de matière associé à une forme conique creuse.

Question 5.1. Indiquer, parmi la torsion, la traction, la flexion, la compression et le cisaillement, la sollicitation à laquelle le mât est soumis face au vent.

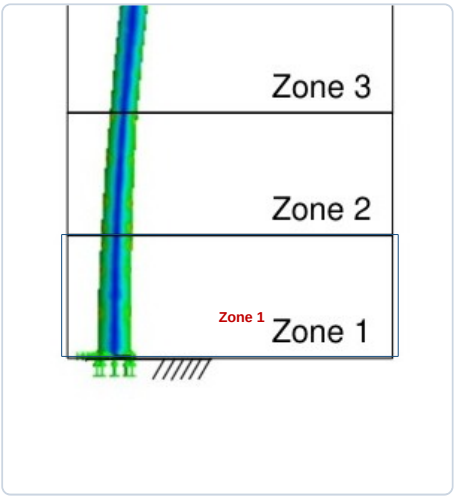
Le vent exerce des efforts horizontaux sur le rotor et la nacelle, en hauteur par rapport à la fondation. Le mât, fixé à sa base, se déforme alors comme une poutre en porte-à-faux. La sollicitation principale étudiée est donc la flexion, et non la traction, la compression, la torsion ou le cisaillement seul.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le mât est soumis à une sollicitation de flexion.

Question 5.2. Sur la simulation du mât isolé, entourer la zone numérotée de 1 à 6 qui est la plus sollicitée.

Le vent applique un effort horizontal en hauteur, ce qui crée un moment de flexion maximal au pied du mât, près de son encastrement dans la fondation. Sur le DR7, cette partie correspond à la zone numérotée 1. Il faut entourer cette zone sur la simulation du mât isolé.

DR7 : zone la plus sollicitée



> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Zone la plus sollicitée : zone 1, au pied du mât.

Question 5.3. Calculer le coefficient de sécurité s en appliquant la formule s = Re / σmax.

Le coefficient de sécurité est le rapport de la limite élastique à la contrainte maximale. Les deux valeurs ont la même unité, qui s'annule dans le quotient : $s = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{6{,}204 \cdot 10^8}{7{,}056 \cdot 10^7} \approx 8{,}79$. Le résultat est sans unité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Coefficient de sécurité : $s \approx 8{,}79$.

Question 5.4. En considérant qu'un coefficient de sécurité s = 3 est suffisant, préciser, en justifiant, si le mât est correctement dimensionné pour résister aux efforts subis.

Le coefficient de sécurité calculé est d'environ 8,79, tandis que le seuil considéré comme suffisant est 3. Comme $8{,}79 > 3$, la limite élastique du matériau est suffisamment supérieure à la contrainte maximale relevée. Le mât est donc correctement dimensionné pour résister aux efforts étudiés dans cette partie.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Oui, le mât est correctement dimensionné : $s \approx 8{,}79 > 3$.

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.

Pour limiter la déformation en flexion, on peut augmenter la résistance de la section, surtout dans la zone 1 où la sollicitation est maximale. Deux pistes adaptées sont :

- augmenter l'épaisseur de la paroi à la base du mât ;
- augmenter le diamètre à la base ou optimiser la conicité pour mieux répartir la matière.

Ces modifications doivent être vérifiées par un nouveau calcul de résistance.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Renforcer la base en augmentant l'épaisseur et optimiser le diamètre ou la conicité du mât.

Question 5.6. Calculer en pourcentage le volume d'acier gagné par la solution conique creuse par rapport à la solution cylindrique creuse, puis indiquer quels piliers du développement durable sont les plus concernés et justifier la réponse.

Le gain est rapporté au volume de la solution cylindrique : $\frac{34{,}7-27{,}78}{34{,}7} \times 100 \approx 19{,}94\,\%$. La solution conique permet donc d'économiser près d'un cinquième du volume d'acier. Les piliers principalement concernés sont l'environnement, par la réduction de matière première et des impacts de fabrication, et l'économie, par la diminution des coûts de matière et de transport.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Gain d'acier : 19,94 %. Piliers concernés : environnemental et économique.

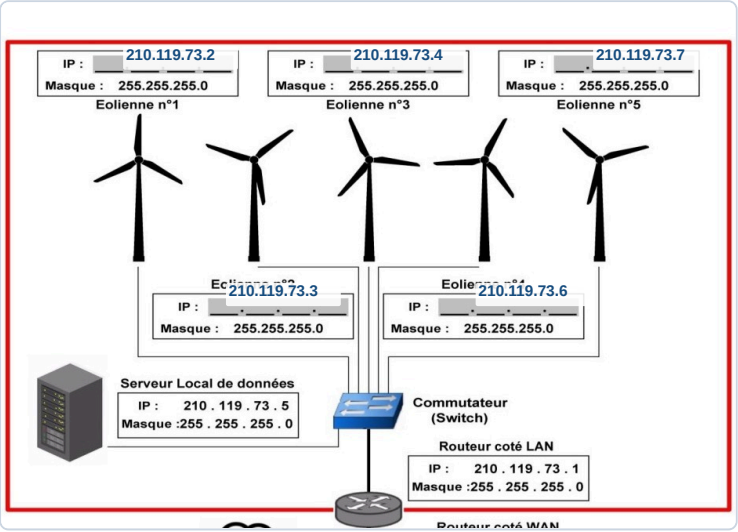
6. Surveillance à distance et réseau local des éoliennes

L'exploitant souhaite surveiller à distance vingt sites comprenant chacun cinq éoliennes, notamment leur production, la température des nacelles et la vitesse de rotation des pales. L'étude porte sur l'adressage IP d'un réseau local et sur le décodage d'une valeur binaire de fréquence.

Question 6.1. Proposer une adresse IP du réseau local pour chacune des éoliennes représentées sur le schéma.

Le masque `255.255.255.0` correspond au réseau local `210.119.73.0/24`. Le routeur utilise l'adresse `210.119.73.1` et le serveur l'adresse `210.119.73.5`. J'attribue à chaque éolienne une adresse distincte de ce même réseau, sans reprendre ces adresses déjà affectées. Les cinq adresses proposées sont inscrites dans les cases correspondantes du schéma : elles permettent aux éoliennes de communiquer sur le réseau local.

Adresses IP des éoliennes



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Éoliennes 1 à 5 : `210.119.73.2`, `.3`, `.4`, `.6` et `.7`.

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

Le masque `255.255.255.0` laisse 8 bits pour les adresses du réseau, soit 256 adresses au total. L'adresse réseau `210.119.73.0` et l'adresse de diffusion `210.119.73.255` ne peuvent pas être attribuées à des équipements. Sept adresses utilisables sont déjà occupées : une par le routeur, une par le serveur et cinq par les éoliennes. Le nombre restant pour étendre le parc correspond donc aux adresses utilisables moins ces sept adresses déjà attribuées.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> 247 adresses disponibles par site.

Question 6.3. **Calculer la valeur décimale de l'octet binaire N = $(01101001)_2$, puis déterminer la fréquence de rotation des pales en tr·min⁻¹ sachant que la valeur décimale représente dix fois la valeur réelle.**

La valeur décimale de l'octet s'obtient en additionnant les poids des bits égaux à 1 : $(01101001)_2 = 64 + 32 + 8 + 1 = 105$. D'après l'énoncé, cette valeur décimale représente dix fois la fréquence réelle. On divise donc 105 par 10 pour obtenir la fréquence de rotation mesurée, exprimée en tours par minute.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Octet : 105 ; fréquence : 10,5 tr·min⁻¹.

Question 6.4. **Conclure sur la possibilité de surveiller tous les parcs éoliens et de mesurer la vitesse de rotation des pales, au regard de la fréquence maximale du constructeur et de la précision de mesure nécessaire.**

La fréquence décodée est de 10,5 tr·min⁻¹, donc inférieure à la fréquence maximale constructeur de 13,2 tr·min⁻¹. La donnée est transmise par pas de 0,1 tr·min⁻¹, ce qui correspond à la précision nécessaire. Le réseau local dispose d'assez d'adresses pour connecter les cinq éoliennes de chaque site. Les liaisons réseau permettent ainsi à l'exploitant de centraliser à distance les informations des vingt sites.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui : la surveillance des vingt sites et la mesure à 0,1 tr·min⁻¹ sont possibles.

7. Vitesse de rotation et vitesse en bout de pale

Cette partie étudie une éolienne N117 de 2,4 MW et vérifie les exigences de vitesse imposées par le bureau d'études. Le candidat exploite les caractéristiques du rotor et les courbes de puissance pour analyser le mouvement, la vitesse tangentielle et le type d'éolienne.

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

Quand la vitesse de rotation augmente, les efforts centrifuges et les sollicitations aérodynamiques croissent. Ils chargent davantage les pales, le moyeu et le rotor, augmentant les risques de déformation, de fatigue et de rupture. La vitesse est aussi limitée par les nuisances sonores produites par le déplacement rapide des pales dans l'air.

- Limite mécanique : préserver la résistance et la durée de vie de la structure.
- Limite acoustique : contenir le bruit émis par les pales.

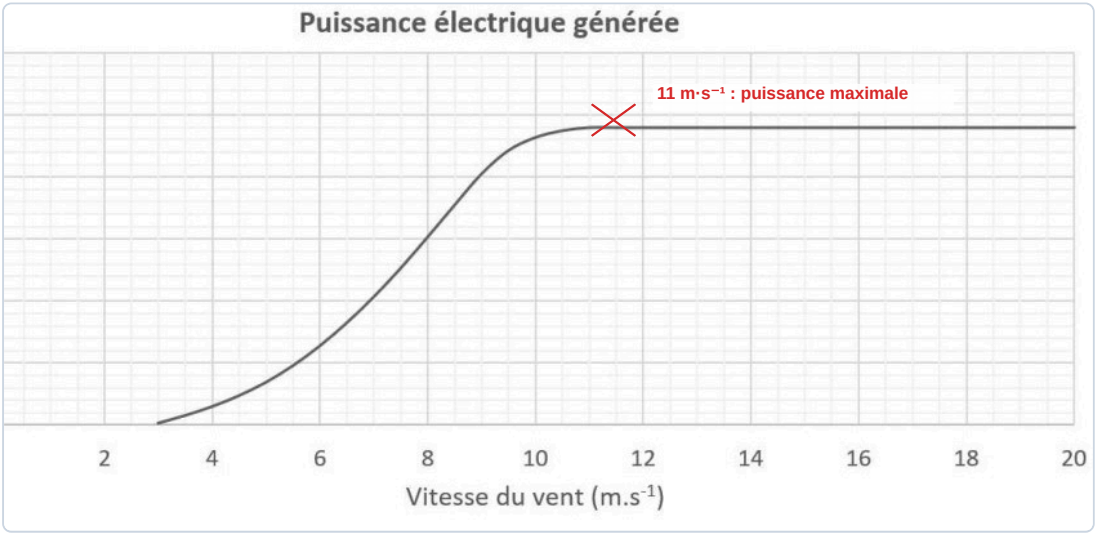
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La vitesse est limitée par les efforts mécaniques croissants et par le bruit des pales.

Question A.2. À partir de la vitesse de vent nominale donnée par le constructeur, vérifier sur le graphique qu'elle correspond à la puissance électrique maximale générée par l'éolienne. À ce point de fonctionnement, déduire la vitesse angulaire maximale du rotor à partir de Nmaxi = 13,2 tr·min⁻¹.

Le constructeur donne une vitesse nominale du vent de 11 m·s^{-1}. Sur la courbe de la page 32, à cette vitesse, la puissance atteint son plateau maximal, environ 2 400 kW, conforme à la puissance nominale de 2,4 MW.

La fréquence maximale vaut 13,2 tr·min^{-1}. Une rotation correspond à 2π radians et une minute à 60 secondes : $\omega_{maxi} = 2\pi \times 13,2/60 \approx 1,38 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Point de fonctionnement nominal



✓ RÉPONSE À RETENIR

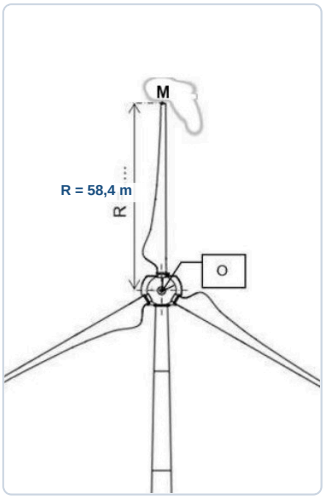
À 11 m·s^{-1}, la puissance maximale est 2,4 MW. $\omega_{maxi} \approx 1,38 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question A.3. Définir la nature du mouvement du rotor par rapport à la nacelle et la nature de la trajectoire du point M appartenant à la pale par rapport à la nacelle, puis préciser le rayon R en mètres.

Élément étudié	Réponse
Mouvement du rotor par rapport à la nacelle	Rotation autour de l'axe du moyeu
Trajectoire de M par rapport à la nacelle	Cercle dans un plan perpendiculaire à l'axe
Rayon de la trajectoire	Moitié du diamètre global des pales

Le diamètre indiqué par le constructeur est de 116,8 m. Le rayon recherché est donc $R = 116,8/2 = 58,4 \text{ m}$. Le point M étant situé en bout de pale, il décrit le cercle de plus grand rayon autour du centre du rotor.

Rayon de la trajectoire de M



✓ RÉPONSE À RETENIR

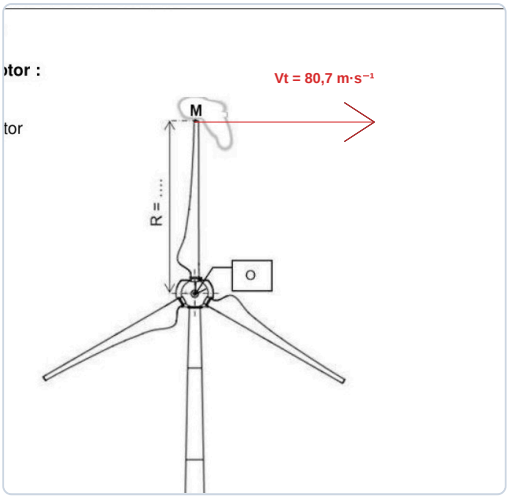
Rotor : rotation. Trajectoire de M : cercle. Rayon : 58,4 m.

Question A.4. Calculer la vitesse tangentielle Vt du point M en bout de pale, tracer son vecteur, puis en déduire la valeur de cette vitesse en km·h⁻¹.

La vitesse tangentielle en bout de pale vaut $V_t = \omega R$. Avec $\omega = 2\pi \times 13,2/60 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ et $R = 58,4 \text{ m}$, on obtient $V_t \approx 80,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La conversion en kilomètres par heure se fait en multipliant par 3,6.

1. Au point M en haut du rotor, le mouvement est horaire : le vecteur vitesse est tangent au cercle et dirigé vers la droite.
2. Sur le document, l'échelle est de 1 cm pour 20 m·s^{-1} : tracer un vecteur d'environ 4,0 cm.

Vecteur vitesse tangentielle au point M



✓ RÉPONSE À RETENIR

$V_t \approx 80,7\ \mathrm{m\cdotp s^{-1}}$, soit $290,6\ \mathrm{km\cdotp h^{-1}}$, dirigée vers la droite au point M.

Question A.5. Calculer le Tip Speed Ratio de l'éolienne pour une vitesse tangentielle Vt = 290 km·h⁻¹ et une vitesse du vent égale à la vitesse de coupure.

La vitesse de coupure du constructeur est de 20 m·s^{-1}. Pour calculer $\lambda = V_t / V_{vent}$, les deux vitesses doivent être exprimées dans la même unité. La vitesse tangentielle donnée est de 290 km·h^{-1}, soit $290/3,6 \approx 80,56\ \mathrm{m\cdotp s^{-1}}$.

Le rapport vaut alors $\lambda = 80,56/20 \approx 4,03$. La classification du sujet indique qu'une éolienne est rapide lorsque $\lambda > 3$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\lambda \approx 4,03 > 3$: l'éolienne est de type rapide.

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

La vitesse tangentielle calculée à la fréquence maximale est d'environ 290,6 km·h^{-1}, donc inférieure à la limite de 300 km·h^{-1}. Le rapport calculé à la question précédente est $\lambda \approx 4,03$, supérieur au seuil de 3 définissant une éolienne rapide.

- Limite de vitesse en bout de pale : respectée.
- Type d'éolienne demandé : rapide, critère respecté.

✓ RÉPONSE À RETENIR

La vitesse de rotation est conforme : la vitesse en bout de pale reste sous 300 $km \cdot h^{-1}$ et l'éolienne est rapide.

8. Dimensionnement hydraulique du dispositif de calage des pales

Le dispositif de pitch control oriente les pales à l'aide d'un vérin hydraulique afin de réguler la rotation et de placer les pales en position drapeau lorsque le vent est trop fort. L'étude vérifie la plage angulaire, la course du vérin, le sens des flux et la capacité d'effort à partir de sa référence et de la pression hydraulique.

Question B.1. Déterminer l'angle de calage β correspondant à la vitesse de démarrage et à la vitesse de coupure du vent.

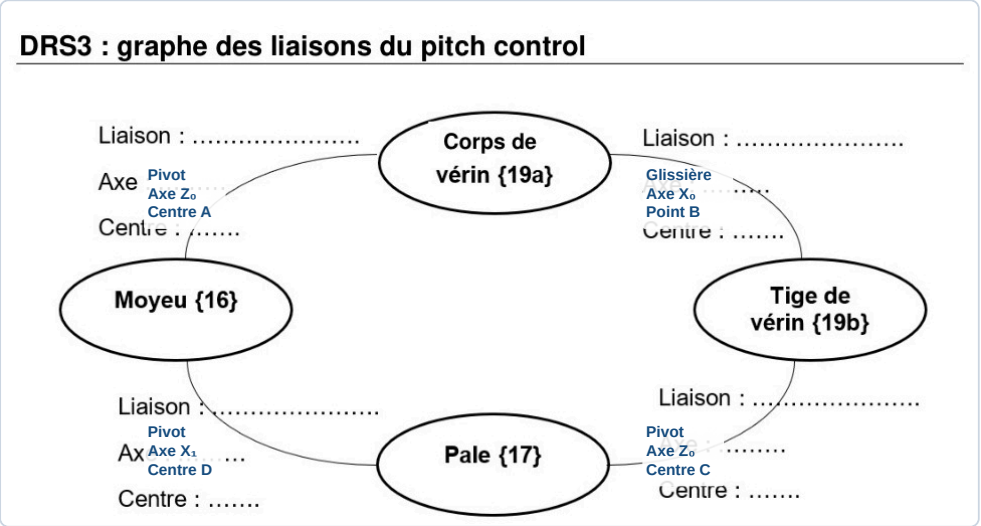
À faible vitesse, l'angle de calage est nul. La vitesse de démarrage est de 3 $m \cdot s^{-1}$. À la vitesse de coupure de 20 $m \cdot s^{-1}$, les pales passent en position drapeau, avec un angle de 90°.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Démarrage : β = 0°. Coupure : β = 90°.

Question B.2. Compléter le graphe des liaisons du pitch control en indiquant le nom, l'axe et le centre ou point de chaque liaison.

Le graphe représente quatre liaisons : le corps du vérin pivote par rapport au moyeu en A et coulisse par rapport à la tige suivant l'axe du vérin. La tige pivote avec la pale en C, tandis que la pale pivote par rapport au moyeu en D.

Graphe des liaisons complété

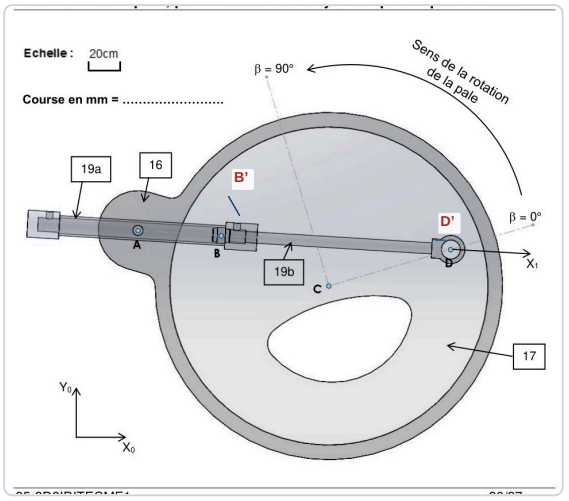


> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 16-19a : pivot, axe Z_0, centre A. 19a-19b : glissière, axe X_0, point B. 19b-17 : pivot, axe Z_0, centre C. 16-17 : pivot, axe X_1, centre D.

Question B.3. Sur la mise en plan fournie pour la position tige sortie et β = 0°, tracer les points D’ et B’ correspondant à la position du vérin lorsque la tige est rentrée et β = 90°.

Sur la mise en plan, conserver le centre D de rotation de la pale, puis reporter la position rentrée en faisant tourner de 90° autour de D le point d’attache de la tige à la pale. La tige et le corps du vérin se repositionnent ensuite sur leurs articulations respectives. Les points D’ et B’ indiquent la position obtenue sur le dessin.

Repères de la position à β = 90°



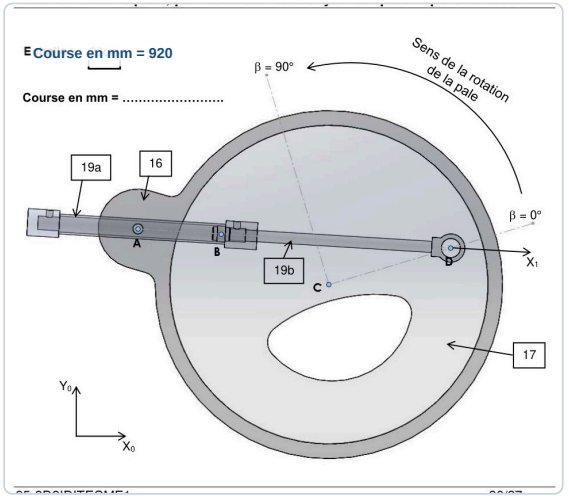
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Tracer D’ au pivot de rotation et placer B’ sur la position rentrée du vérin après la rotation de 90°.

Question B.4. À partir du tracé précédent, déduire la course minimale de la tige, en millimètres, nécessaire pour garantir une plage de réglage minimale de 90°.

La course est le déplacement entre les deux positions extrêmes de la tige. Elle se relève sur la mise en plan après le tracé de la position rentrée. La course minimale nécessaire pour obtenir les 90° de réglage est de 920 mm.

Course minimale inscrite sur la mise en plan



✓ RÉPONSE À RETENIR

Course minimale : 920 mm.

Question B.5. 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 garantit la plage de réglage.

Dans la référence CD H2 MT4/100/70/950, la dernière valeur indique la course du vérin : 950 mm. Cette course est supérieure aux 920 mm nécessaires pour atteindre l'angle de calage de 90°.

✓ RÉPONSE À RETENIR

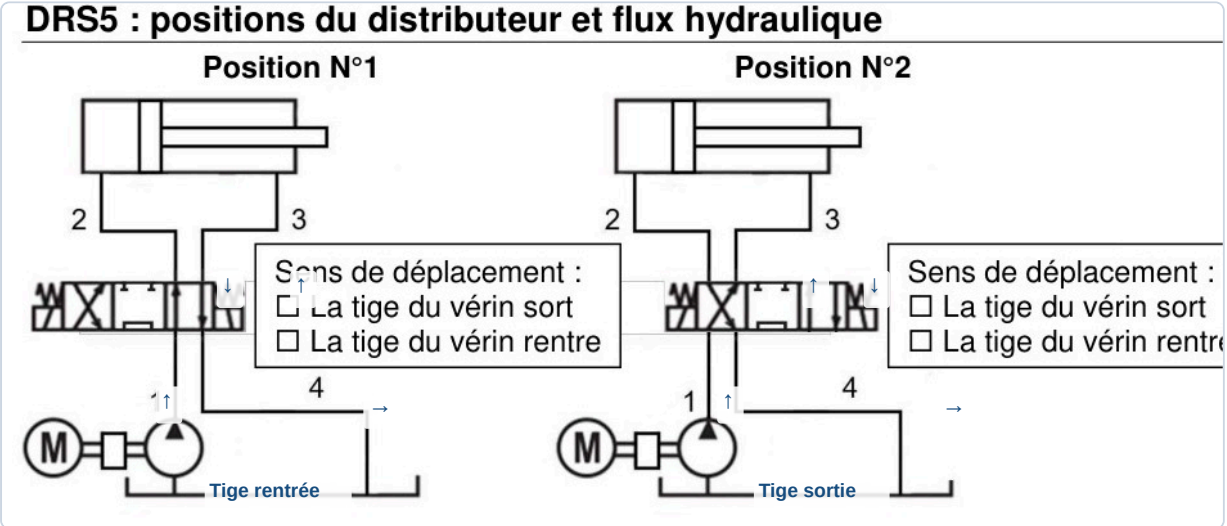
950 mm > 920 mm : la course permet le réglage de 90°.

Question B.6. Sur les schémas des deux positions du distributeur, indiquer par des flèches le sens du flux d'huile dans les conduites repérées de 1 à 4, puis préciser le sens de déplacement de la tige du vérin pour chaque position.

Le port 1 est alimenté par la pompe et le port 4 renvoie l'huile au réservoir. Selon la position du distributeur, l'huile est dirigée vers le port 2 ou le port 3, tandis que l'autre chambre retourne au réservoir.

1. Position 1 : alimentation vers 3, retour de 2 vers 4, tige rentrée.
2. Position 2 : alimentation vers 2, retour de 3 vers 4, tige sortie.

Sens des flux dans les deux positions



✓ RÉPONSE À RETENIR

Position 1 : 1→3 et 2→4, tige rentrée. Position 2 : 1→2 et 3→4, tige sortie.

Question B.7. À partir de la référence du vérin, préciser le diamètre du piston et celui de la tige, puis calculer les surfaces S1 et S2 correspondant respectivement à la sortie et à la rentrée de tige.

La référence donne un piston de 100 mm et une tige de 70 mm. Pour la sortie, la surface est celle du piston. Pour la rentrée, il faut retrancher la section de la tige :
$S_1 = \pi \times 100^2 / 4 \approx 7\,854$ mm².
$S_2 = \pi \times (100^2 - 70^2) / 4 \approx 4\,006$ mm².

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Piston : Ø 100 mm. Tige : Ø 70 mm. $S_1 \approx 7\,854$ mm² ; $S_2 \approx 4\,006$ mm².

Question B.8. Avec une pression d'alimentation de 250 bars, calculer l'effort F2 correspondant à la rentrée de tige. Justifier pourquoi il n'est pas nécessaire de calculer F1 pour vérifier que l'effort du vérin est suffisant.

La pression de 250 bars équivaut à 25 N·mm⁻². À la rentrée, $F_2 = p \times S_2 = 25 \times 4\,005{,}54 \approx 100\,139$ N, soit 100,1 kN. La rentrée fournit l'effort le plus faible ; il suffit donc de vérifier cette valeur par rapport à la limite de 110 kN.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $F_2 \approx 100{,}1$ kN, inférieur à la limite de 110 kN.

Question B.9. Conclure sur le choix du vérin au regard de sa capacité à régler la position de la pale.

La course du vérin, 950 mm, dépasse les 920 mm requis. À la rentrée, l'effort calculé est d'environ 100,1 kN, inférieur à la limite de 110 kN. Le vérin retenu satisfait donc les critères de course et d'effort étudiés.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le vérin choisi convient pour la course et l'effort étudiés.

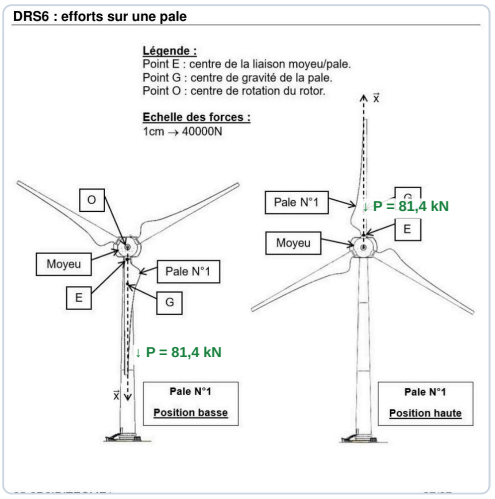
9. Résistance de la liaison entre le moyeu et la pale

Cette partie porte sur l'effort axial exercé sur la liaison moyeu/pale lorsque le rotor tourne à sa fréquence maximale, dans deux positions de pale. Le poids et la force centrifuge servent à déterminer l'effort transmis à la liaison et à vérifier le critère de résistance de 1 000 kN.

Question C.1. Calculer le poids d'une pale, puis tracer en vert le vecteur poids sur les deux positions représentées.

La masse d'une pale est de 8,3 t, soit 8 300 kg. Avec la pesanteur donnée, son poids vaut $P = mg = 8\,300 \times 9{,}81 = 81\,423$ N, soit 81,4 kN. Le poids s'applique au centre de gravité G et reste vertical, dirigé vers le bas dans les deux positions de pale. Les deux vecteurs représentés ont donc la même direction, le même sens et la même valeur.

Poids de la pale dans les deux positions



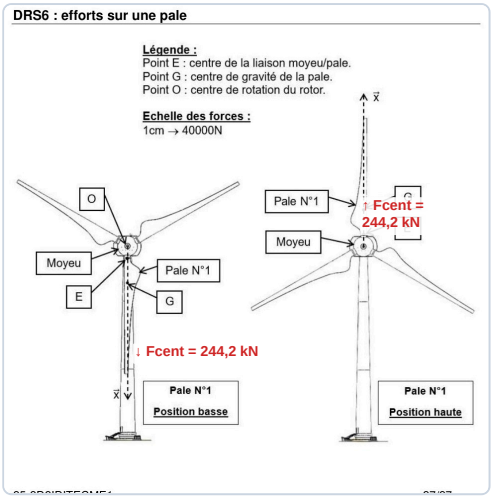
✓ RÉPONSE À RETENIR

Poids d'une pale : **81,4 kN vers le bas**, dans les deux positions.

Question C.2. Calculer la force centrifuge exercée sur la pale, puis tracer en rouge son vecteur sur les deux positions représentées.

La fréquence maximale est de 13,2 tr·min⁻¹, donc $\omega = 13{,}2 \times 2\pi/60 \approx 1{,}3823$ rad·s^{-1}. Avec la masse de 8 300 kg et le rayon de 15,4 m, la force centrifuge vaut $F_{cent} = mR\omega^2 \approx 244\,233$ N, soit 244,2 kN. Elle s'applique en G et pointe vers l'extérieur de la trajectoire : vers le bas pour la pale basse et vers le haut pour la pale haute.

Force centrifuge sur les deux pales



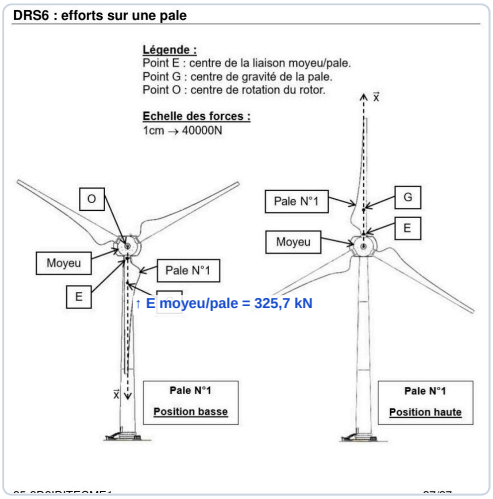
✓ RÉPONSE À RETENIR

Force centrifuge : **244,2 kN vers l'extérieur** dans chaque position.

Question C.3. Déduire laquelle des deux positions produit l'effort axial le plus important dans la liaison moyeu/pale, puis calculer et tracer cet effort en bleu sur la position concernée.

En position basse, l'axe de la pale pointe vers le bas : le poids et la force centrifuge sont tous deux dirigés vers l'extérieur. Leur résultante est donc maximale, et la liaison exerce une force opposée, vers le moyeu. Sa valeur est $E = 81\,423 + 244\,233 \approx 325\,656$ N, soit 325,7 kN. En position haute, ces deux efforts s'opposent, donc l'effort axial transmis est plus faible.

Effort axial maximal dans la position basse



✓ RÉPONSE À RETENIR

Effort axial maximal en position basse : **325,7 kN vers le moyeu**.

Question C.4. Conclure si la liaison résiste à l'effort axial, puis déterminer le coefficient de sécurité s pris en compte par le bureau d'études.

L'effort axial maximal calculé est de 325,7 kN, inférieur à la limite de 1 000 kN fixée par le bureau d'études : la liaison résiste. Le coefficient de sécurité est le rapport entre l'effort limite admissible et l'effort maximal subi. En utilisant les valeurs en kilonewtons, $s = 1\,000 / 325{,}7 \approx 3{,}07$. La liaison dispose donc d'une marge de résistance d'environ 3,1 par rapport à l'effort calculé.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> La liaison résiste : **325,7 kN < 1 000 kN**. Coefficient de sécurité : **s ≈ 3,07**.

SYNTHÈSE DE L'ÉPREUVE & RÉFÉRENTIEL • BAC STI2D

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2025)

Bilan de l'épreuve : Épreuve de spécialité Innovation technologique et éco-conception du baccalauréat technologique STI2D, session 2025, code 25-2D2IDITECME1, durée 4 heures, coefficient non imprimé. L'étude porte sur une ferme éolienne et évalue l'implantation, la production, la rentabilité, les chaînes d'énergie, la résistance du mât, le réseau de surveillance, la cinématique du rotor, la commande hydraulique des pales et la résistance de leur liaison au moyeu.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le facteur de charge est le rapport entre l'énergie effectivement produite et l'énergie nominale théorique sur la même période.
- Le rendement global d'une chaîne de conversion est le produit des rendements de ses composants successifs.
- Pour un mouvement circulaire, la vitesse tangentielle vaut Vt = Rω ; convertir les unités avant toute comparaison.
- L'effort hydraulique se calcule par F = pS ; utiliser la surface réellement soumise à la pression et des unités cohérentes.

Points de vigilance & attentes du jury

- Vérifier les distances aux habitations à l'aide de l'échelle du plan et les comparer à la limite réglementaire de 500 m.
- Pour l'énergie annuelle, utiliser la durée d'une année et convertir les kW·h, MW·h et euros avant les comparaisons.
- Distinguer les surfaces de sortie et de rentrée de tige : la tige réduit la surface soumise à la pression lors de la rentrée.
- Sur les schémas, respecter les vecteurs, les couleurs, les unités, les échelles et les sens de flux demandés.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment utiliser le facteur de charge pour estimer une production annuelle ?

Calculer d'abord l'énergie nominale sur la période en multipliant la puissance installée par la durée. L'énergie réellement produite s'obtient ensuite en multipliant cette énergie nominale par le facteur de charge exprimé sous forme décimale.

Q : Comment passer de la fréquence de rotation du rotor à sa vitesse angulaire ?

Convertir la fréquence en tours par seconde en la divisant par 60, puis multiplier par 2π. La relation est $\omega = 2\pi N$, avec N exprimé en s^{-1} et ω en $rad \cdot s^{-1}$.

Q : Comment répartir son temps entre les parties de l'épreuve ?

Le sujet indique 2 h 30 à titre indicatif pour la partie commune, notée sur 12 points, et 1 h 30 pour la partie spécifique, notée sur 8 points. Les parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre choisi.

Q : Quelles précautions prendre pour les schémas et les calculs techniques ?

Le sujet demande des calculs justifiés et des conclusions fondées sur les critères fournis. Sur les documents réponses, respecter les unités, les échelles, les codes couleur, les légendes et les sens de flux indiqués.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bacsti2d.fr/assets/annales/bac-sti2d/Ingénierie, innovation et développement durable/2025/Bac STI2D - Ingénierie, innovation et développement durable - Session 2025 - 7-Sujet.pdf
Ressources Bac STI2D : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

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.