

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

Projet de ferme éolienne



Correction

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

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

Partie 2 : l'augmentation de cette production « verte » permet-elle d'assurer l'équivalent des besoins en énergie électrique des communes environnantes ?

- Question 2.1 | $E_{\text{produite}} = E_{\text{nominale}} \times f_c$ avec $f_c=0,22$ pour l'éolien en région Rhône-Alpes
 $= P_{\text{nominale}} \times \text{Nombre d'heures sur une année} \times f_c$
 $= 2,4 \times 5 \times 365 \times 24 \times 0,22 = 23\,126,4 \text{ MW}\cdot\text{h}$
 $E_{\text{produite}} = 23\,126,4 \text{ MW}\cdot\text{h}$
- Question 2.2 | Nombre de foyers = $23\,126,4 / 3,200 = 7\,227$
- Question 2.3 | La ferme éolienne est capable de fournir l'énergie nécessaire pour tous les foyers (et même plus) à ses alentours.

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

Partie 3 : ce projet est-il économiquement viable ?

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

Question 3.3	Pour avoir un seuil de rentabilité, il faut déterminer le point d'intersection entre les 2 droites, dépenses et recettes. $18\,000 + 540 \times n = 2\,500 \times n, \text{ soit } n = 9,2 \text{ années.}$ On observe que le projet est rentable au-delà de 9,2 ans. À cette date les recettes sont supérieures aux dépenses. Si une réponse est donnée à partir du graphique (9 ans) la réponse est acceptable. Conclusion : avec une durée de vie de 25 ans, le projet est rentable économiquement.
--------------	--

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

Question 4.1	Voir DR5
Question 4.2	Voir DR5
Question 4.3	Voir DR5
Question 4.4	Voir DR6 $P_v = 1000 \text{ kW}$
Question 4.5	Voir DR5
Question 4.6	$\eta = \eta_{\text{pales}} \times \eta_{\text{multiplicateur}} \times \eta_{\text{génératrice}} \times \eta_{\text{convertisseur}} \times \eta_{\text{transformateur}}$ $\eta = 0,8 \times 0,85 \times 0,9 \times 0,99 \times 0,95 = 0,576$ $\eta = 0,576$ Pour une puissance de 1 MW fournie par le vent, l'énergie produite par une éolienne est : $E_{\text{produite}} = \eta \times E_{\text{vent}}$ $E_{\text{produite}} = 0,576 \times 1 \times 365 \times 24$ $E_{\text{produite}} = 5\,046 \text{ MW}\cdot\text{h}$

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

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

Question 5.1 | Le mât est soumis à de la flexion.

Question 5.2 | Voir DR7

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

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

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

Question 5.6 | $\epsilon = \frac{V_{cyl.} - V_{con.}}{V_{cyl.}} \times 100 = \frac{34,7 - 27,78}{34,7} \times 100 = 20 \%$
 On a un gain de 20% de matière
 $\rightarrow$ Le pilier **environnemental** est concerné car moins de matière première à extraire du sol.
 $\rightarrow$ Le pilier **économique** est également concerné car des économies sont faites grâce à ce gain de matière.

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

Question 6.1 | Voir DR8

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

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

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

DR1 : implantation des éoliennes

Légende utile

■ ■ : habitations

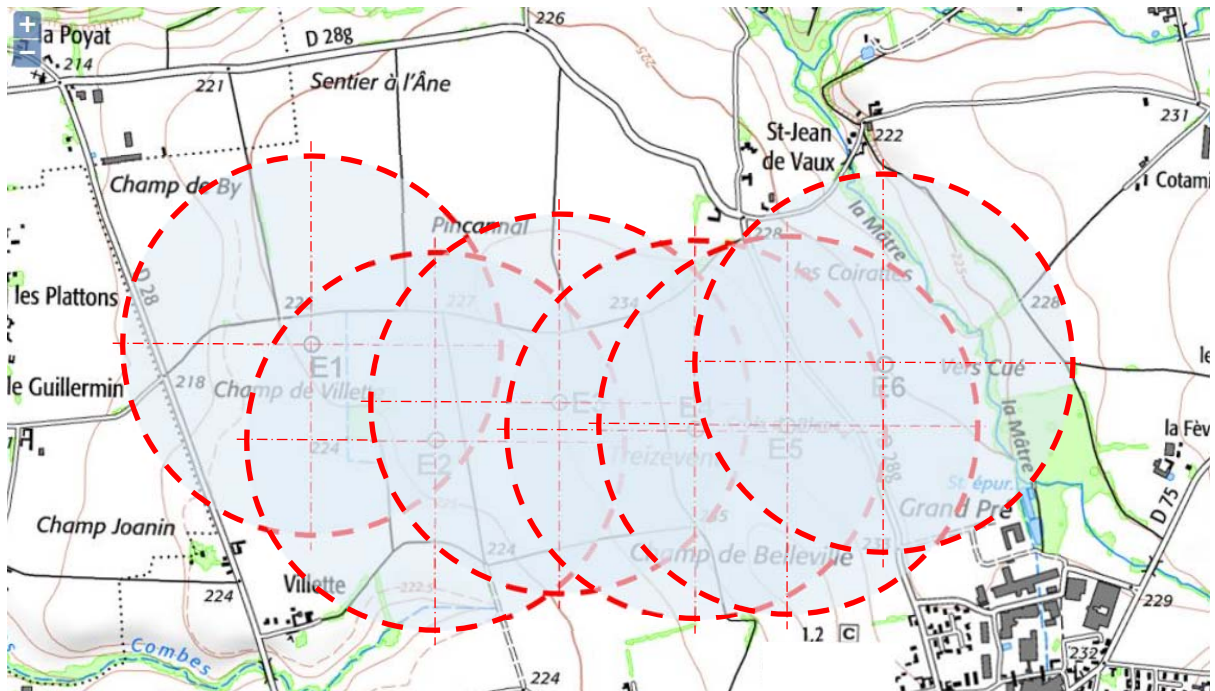
○ : éolienne

Échelle des plans

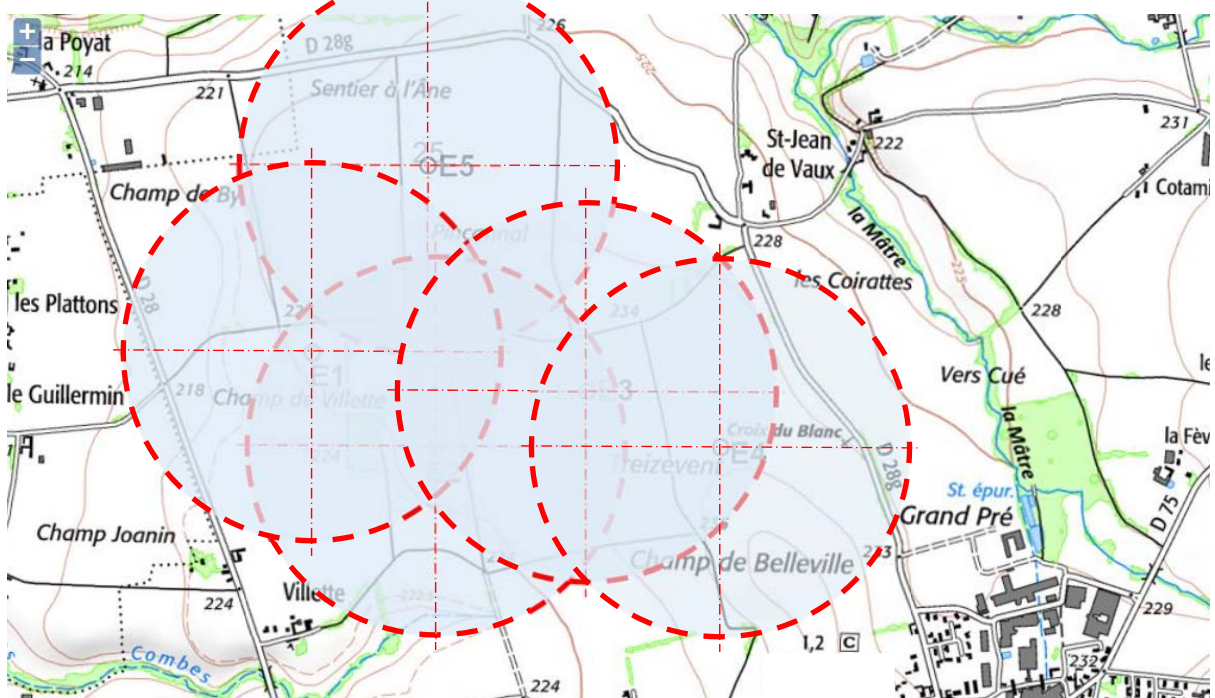
200m



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



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



DR2 : analyse des deux projets

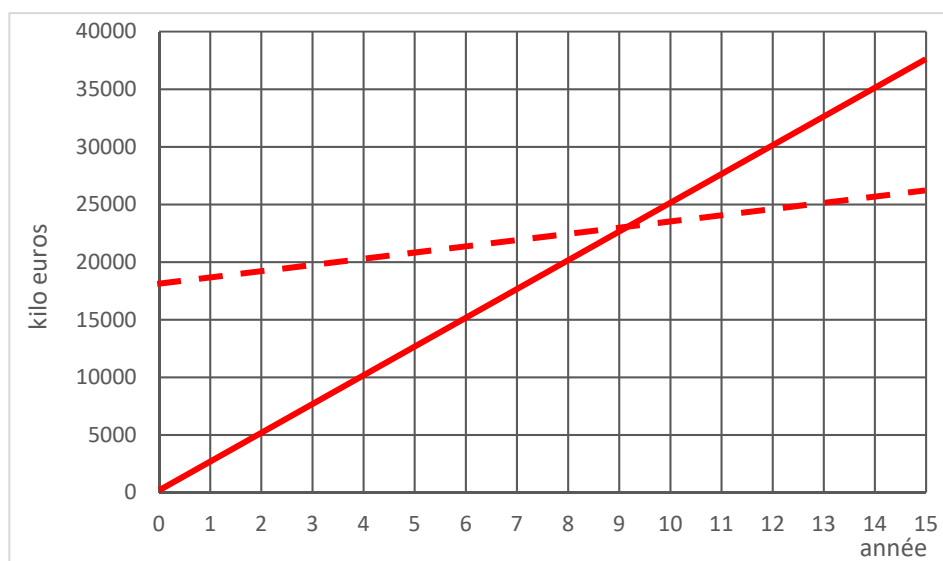
Critères Projet N°1	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7	Total
Pondération	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-3

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

DR3 : dépenses et recettes des 5 éoliennes

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

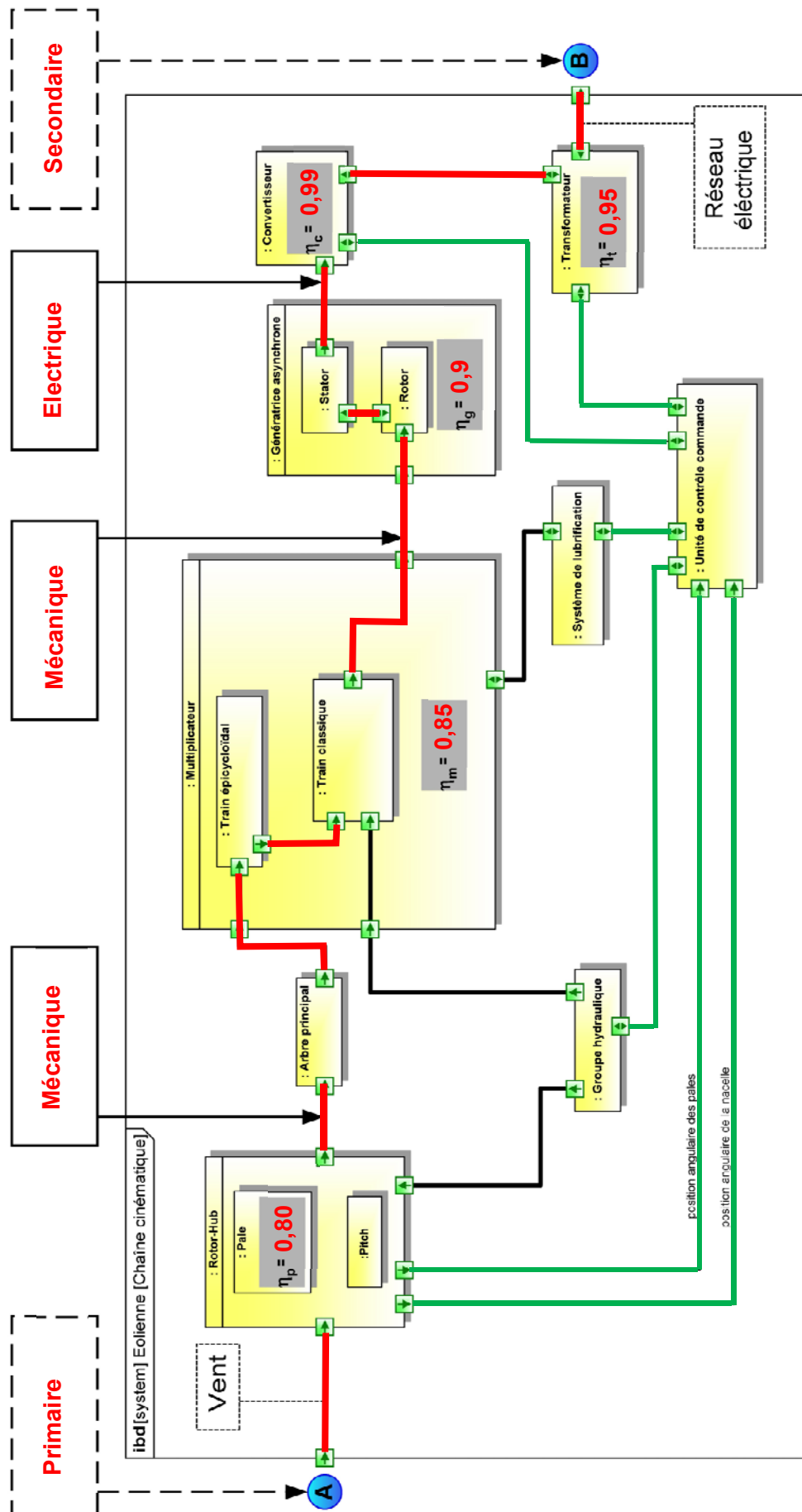
DR4 : viabilité financière



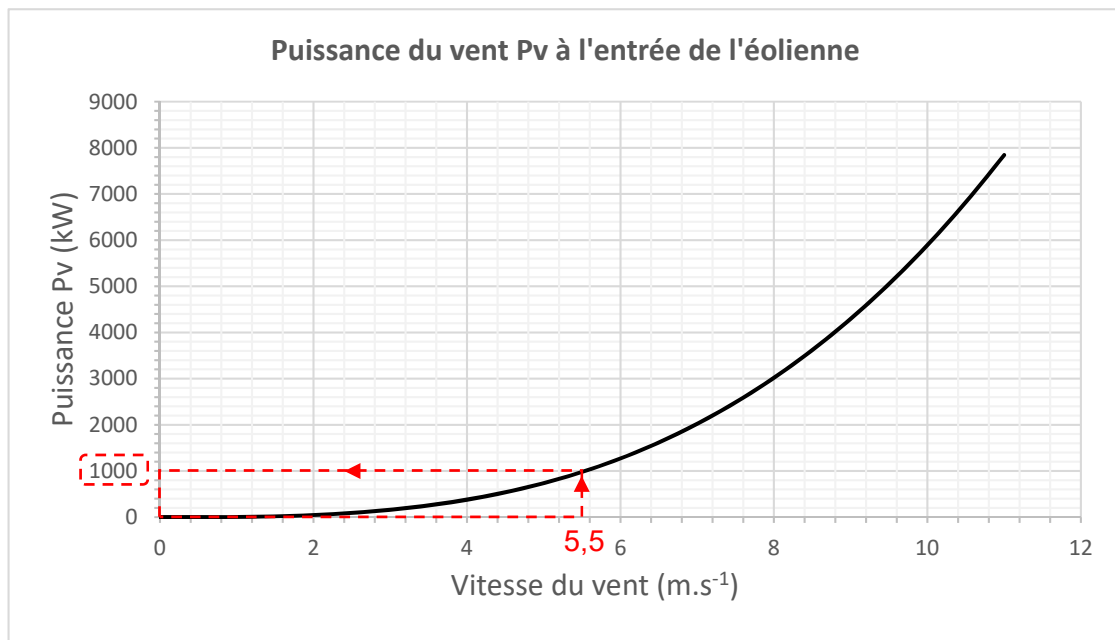
1 k€ = 1 000 €

Légende
Recettes : —
Dépenses : - - - -

DR5 : diagramme des blocs internes (ibd)



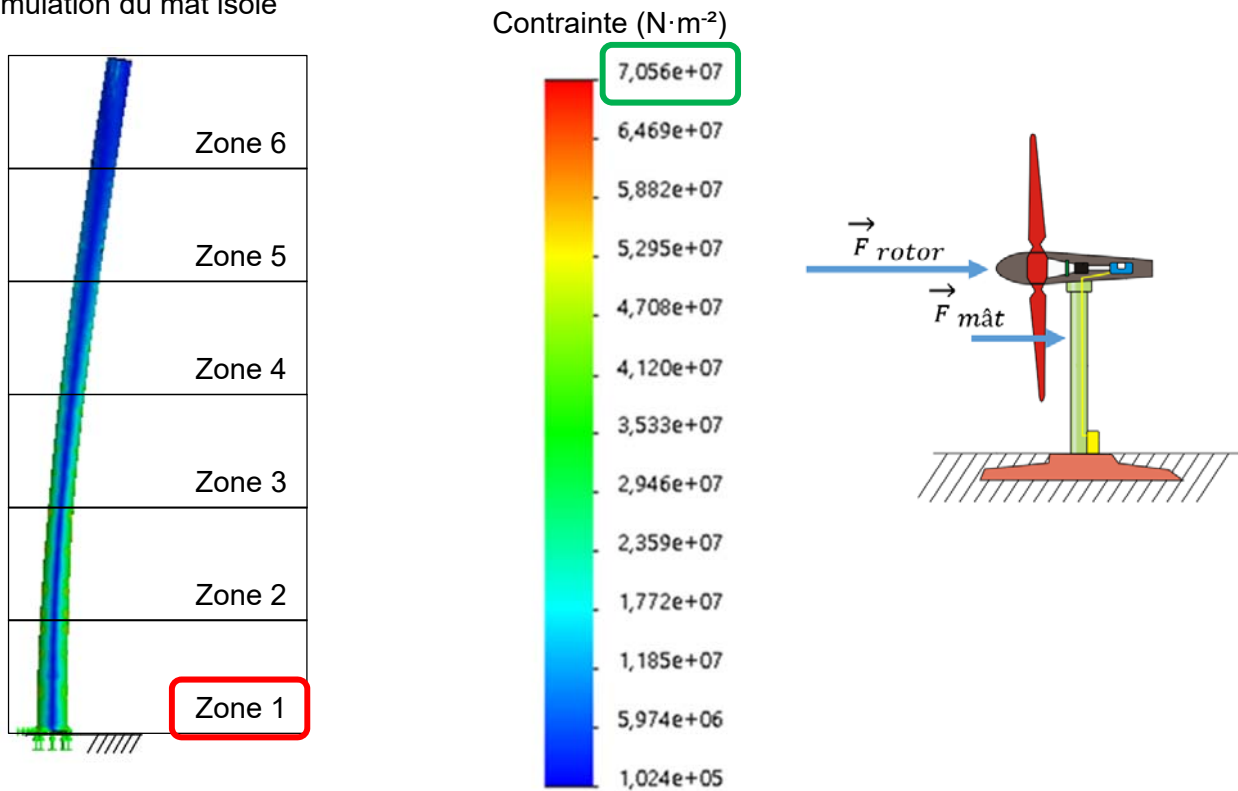
DR6 : courbe de puissance du vent



DR7 : résistance du mât seul

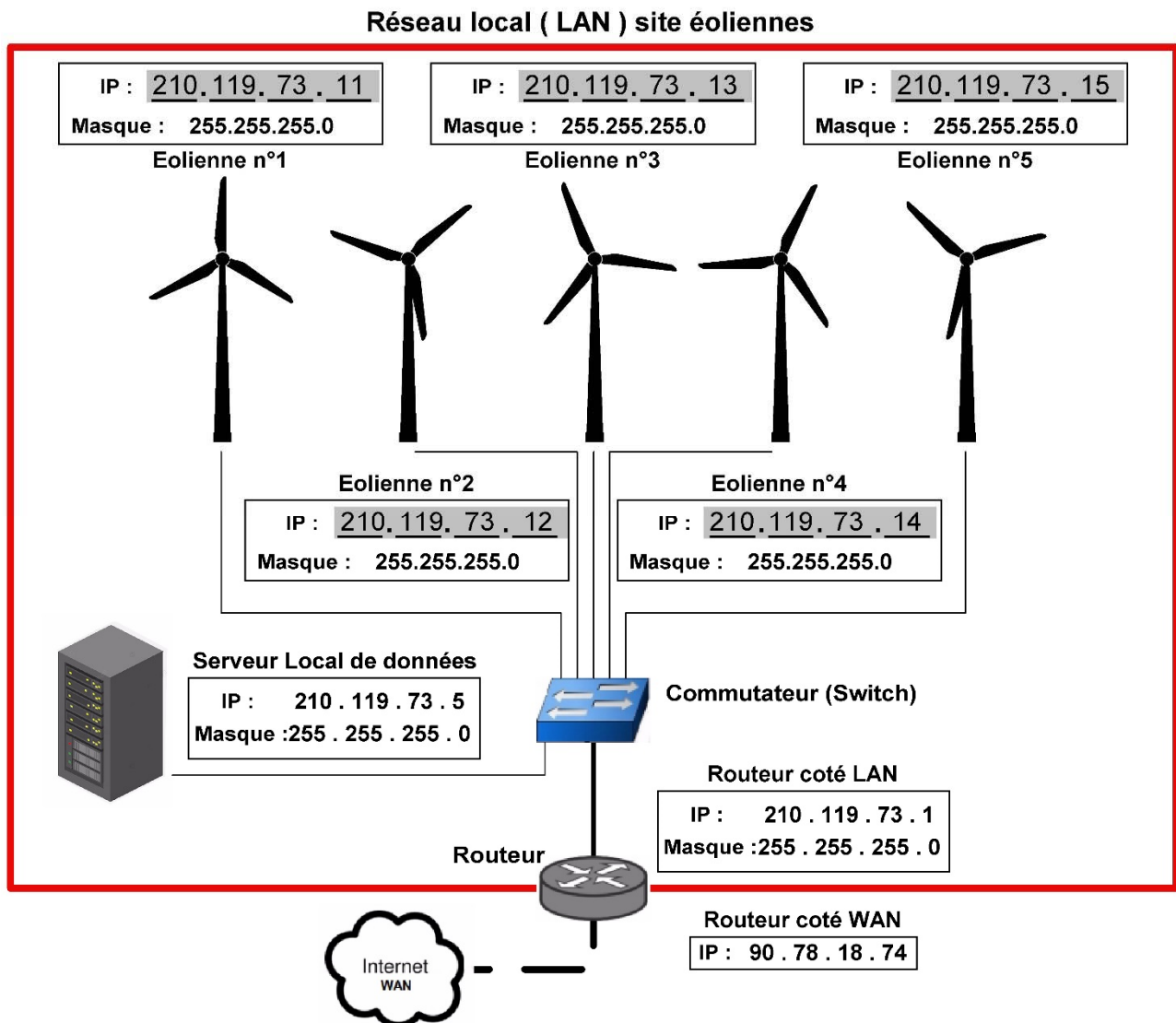
Zone la plus sollicitée

Simulation du mât isolé



→ Limite élastique du matériau du mât : 6,204e+08 (N.m^{-2})

DR8 : réseau local (LAN) site d'éoliennes



INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Projet de ferme éolienne



Correction

Travail demandé

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

Question A.1	• Risque structure : force centrifuge élevée et rupture de la structure • Acoustique : nuisances sonores • Autres propositions cohérentes (vibrations importantes, fissures ...)
Question A.2	Sur DTS1 le constructeur indique une vitesse nominale de vent de 11 m.s⁻¹. Sur le graphique, à cette vitesse, la puissance générée est bien maximale (Voir DRS1). $\omega_{\max i} = \pi \times N / 30$ donc $\pi \times 13,2 / 30 \approx 1,38 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Question A.3	Mouvement de rotation de centre O. T_{M_∈pale/nacelle} : cercle de centre O et de rayon OM avec OM=R=Ø_{rotor}/2 soit 116.8/2=58,4m (Voir DRS2).
Question A.4	$V_t = R \times \omega_{\max i}$ donc $58,4 \times 1,38 \approx 80,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Soit un vecteur de 4cm vers la droite, perpendiculaire au rayon OM (voir DRS2). $V_t = 80,6 \times 3,6 \approx 290 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Question A.5	$\lambda_c = \frac{80,6}{20} \approx 4$
Question A.6	$V_t \approx 290 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} < 300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $\lambda \approx 4 > 3$ (éolienne de type rapide) La vitesse de rotation est donc conforme aux précisions du bureau d'études.

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

Comment garantir une plage de réglage de 90° ?

Question B.1	• Vitesse de démarrage : 3 m.s⁻¹ vent faible donc $\beta = 0^\circ$ • Vitesse de coupure : 20 m.s⁻¹ vent fort donc $\beta = 90^\circ$ (ou $\beta \geq 90^\circ$)
Question B.2	Voir DRS3

Question B.3	Voir DRS4, trajectoire du point B = arcs de cercle, la construction peut se faire sans compas, $CD=CD'$. Distance DB constante, on reporte la longueur DB à partir de D' les points A, B et D restent toujours alignés, on obtient donc B' Mis à part la précision de la construction, aucune autre position de D' et B' ne sera acceptée.
Question B.4	Mesure de BD-B'D' : $7,2 - 2,6 = 4,6\text{cm}$ + mise à l'échelle $4,6 \times 20 = 92\text{ cm}$ ou toute autre proposition cohérente...
Question B.5	La case de la ligne 06 de la référence du vérin donne la course en mm soit 950mm, Il faut une course mini de 920mm pour garantir une plage de réglage de 90° mini, $950 > 920$, le vérin choisi permet donc de garantir la plage de réglage.

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

Question B.6	Voir DRS5
Question B.7	La case de la ligne 04 de la référence du vérin donne le $\varnothing_{\text{piston}}=100\text{mm}$ La case de la ligne 05 de la référence du vérin donne le $\varnothing_{\text{tige}}=70\text{mm}$ $S = \pi \times R^2$ ou $\pi \times D^2/4$ $S_1 = \pi \times 50^2 \approx 7854\text{ mm}^2$ $S_2 = (\pi \times 50^2) - (\pi \times 35^2) \approx 4005\text{ mm}^2$
Question B.8	$F = p \times S$ avec p en MPa et S en mm^2, 250 bars = 25 MPa $F_2 = 25 \times 4005 = 100125\text{ N}$ $100125\text{ N} > 80\text{ kN}$ Il n'est pas nécessaire de calculer F_1, il sera forcément plus grand que F_2 car $S_1 > S_2$ et la pression p reste la même.
Question B.9	Le vérin choisi correspond bien à la course nécessaire de 920mm < 950 mm. L'effort demandé est d'environ 100kN ce qui est bien inférieure à la valeur max donnée par le constructeur.

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

Question C.1	$m_{\text{pale}} = 8,3\text{T}$ soit 8300kg $P = m_{\text{pale}} \times g$, $P = 8300 \times 9,81 = 81423\text{ N}$ Voir DRS6.
--------------	--

Question C.2

$F_{\text{cent}} = 8300 \times 15,4 \times 1,38^2 \approx 243420 \text{ N}$ ($\pi.N/30 = 1,38$)
Voir DRS6.

Question C.3

DRS6

En position 1 (pale basse), l'effort axial $\vec{E}_{\text{moyeu/pale}}$ sera le plus important car le poids et la force centrifuge s'ajoutent :

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

$$\vec{E}_{\text{moyeu/pale}} = - (81423 + 243420) \cdot \vec{x}$$

$$\vec{E}_{\text{moyeu/pale}} = - (324843) \cdot \vec{x}$$

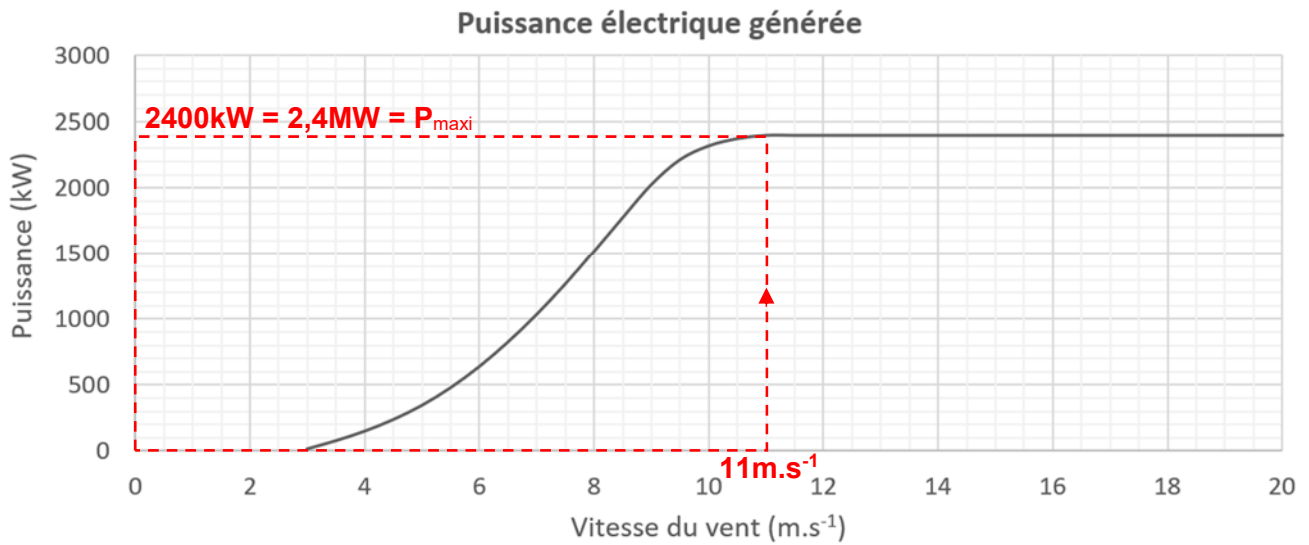
Question C.4

$324,843 \text{ kN} < 1000 \text{ kN}$, la liaison résiste donc à l'effort axial.

$$s = 1000 / 324,843$$

Le coefficient de sécurité pris en compte par le bureau d'études est donc
 $s \approx 3$

DRS1 : courbe de puissance générée



DRS2 : étude du mouvement du rotor

Echelle des vitesses :

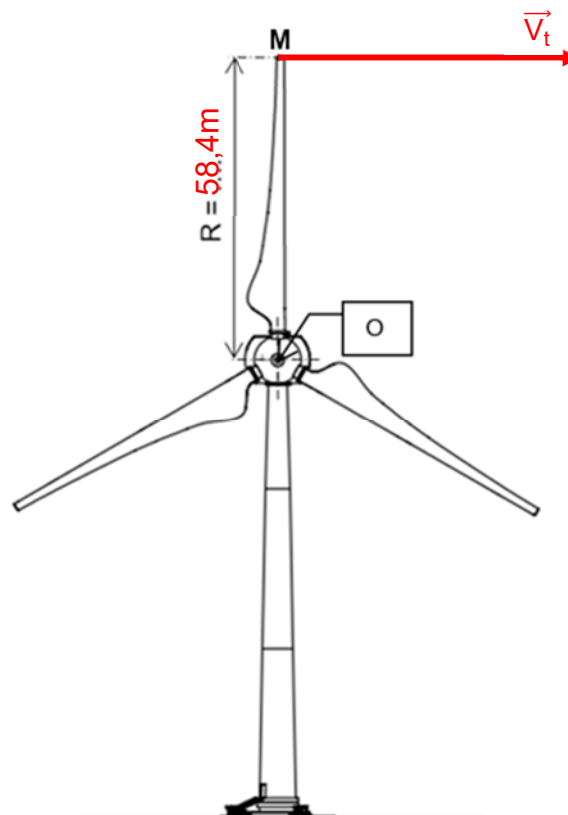
1 cm $\rightarrow$ 20 m.s^{-1}

Sens de rotation du rotor :

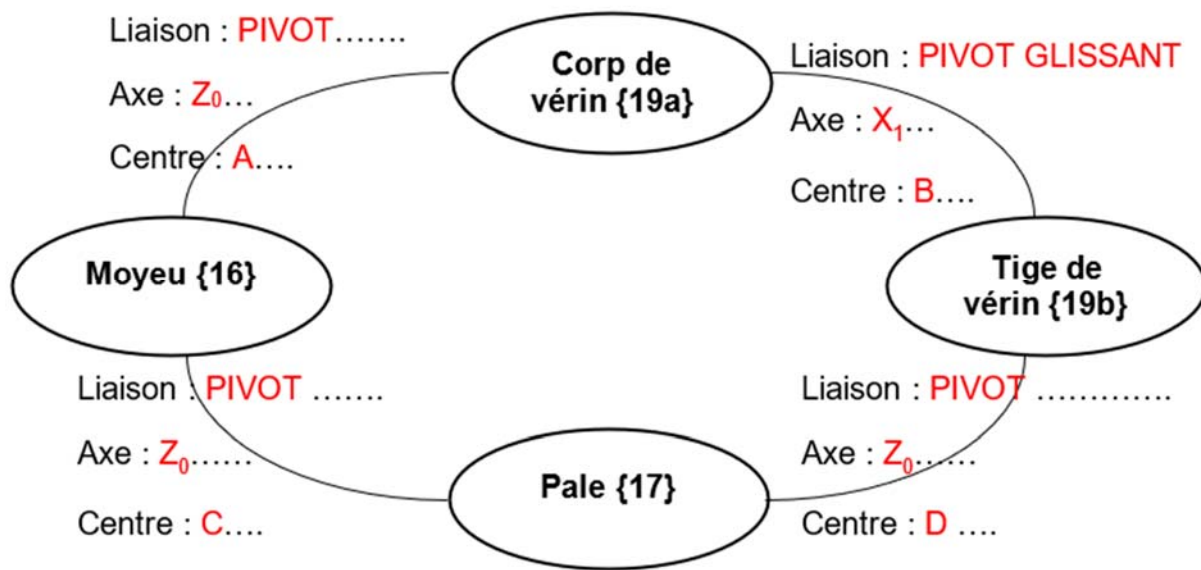
sens horaire

Point O :

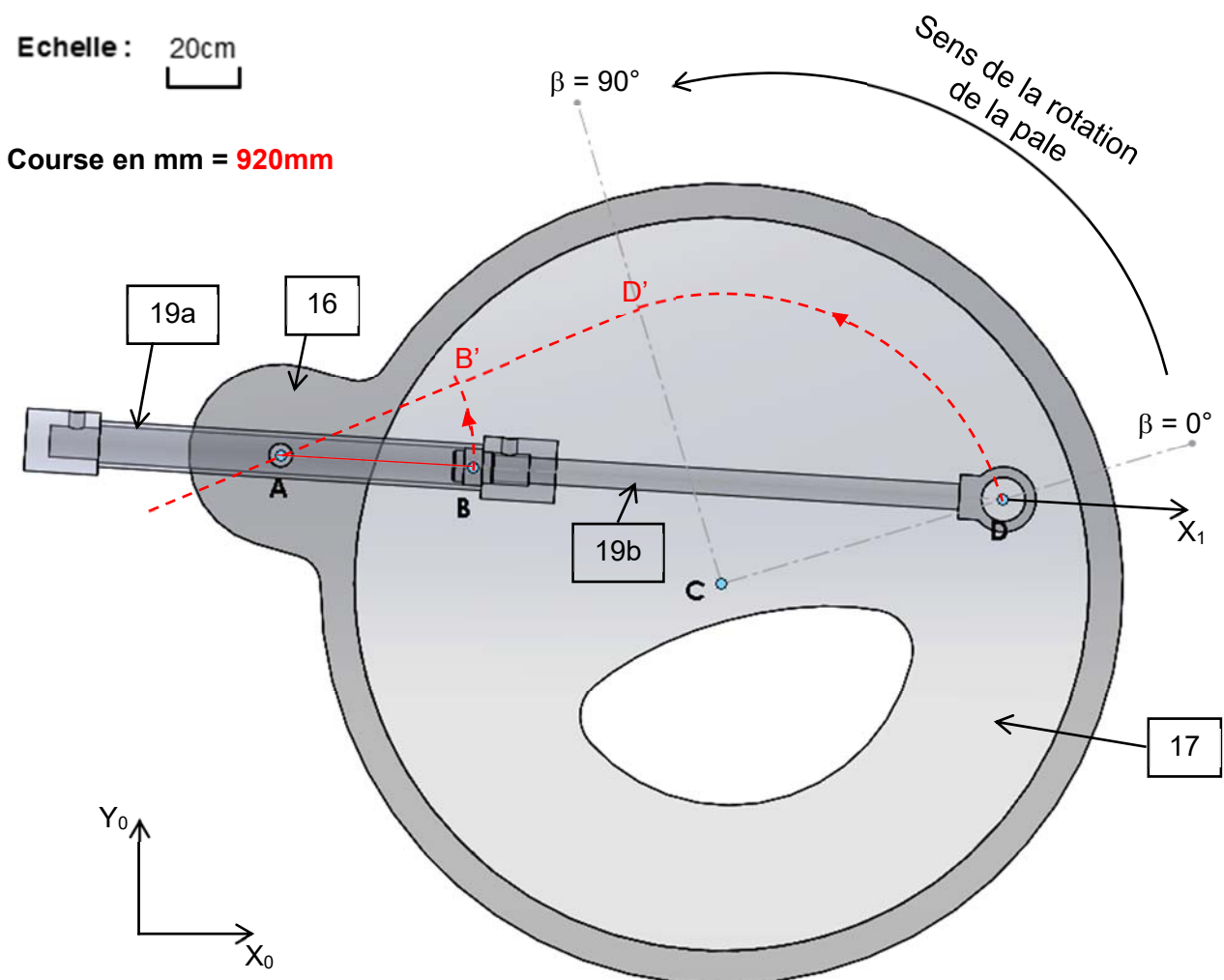
centre de rotation du rotor



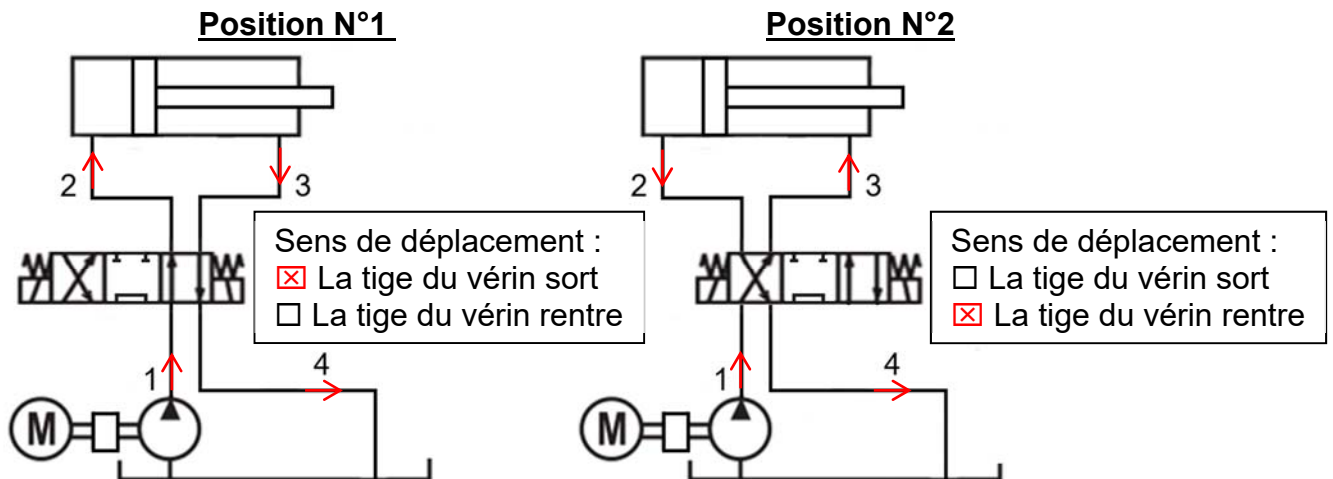
DRS3 : graphe des liaisons du pitch control



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



DRS5 : positions du distributeur et flux hydraulique



DRS6 : efforts sur une pale

