Banque PT, France

Session 2014, filière PT

Sciences industrielles C

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : étude des phases de fonctionnement de l'éolienne
- Partie II : conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique
- Partie III : transmission du couple par le système Pure Torque
- Partie IV : conception et fabrication du hub
- Partie V : conception des liaisons du hub avec l'arbre et le rotor

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2014/si-c

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Epreuve de Sciences Industrielles C

Durée 6 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

105

L'usage de calculatrices est interdit

Aucun document n'est autorisé

<u>Composition du sujet</u> :

- 1 cahier de 15 pages de texte, numérotées de 1 à 15.
- 1 cahier de 12 pages, numérotées de I à XII, intitulé **« DOCUMENT RESSOURCE »**.
- 1 cahier de 17 pages, intitulé **« CAHIER REPONSE » à rendre à la fin de l'épreuve.**
- 1 calque format A3, intitulé **« CALQUE REPONSE » à rendre à la fin de l'épreuve**.

<u>Gestion du temps</u> :

En admettant une durée de 15 minutes pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer environ 10 % du temps à la partie I, environ 20 % du temps à la partie II, environ 30 % du temps à la partie III, environ 20 % du temps à la partie IV, environ 20 % du temps à la partie V.

Il est demandé au candidat de formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour répondre aux questions posées.
La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Eolienne Offshore Haliade 150

Présentation

Nous proposons d'étudier dans ce sujet la plus grande éolienne du monde, l'éolienne Haliade 150 d'une puissance de 6 MW, produite par Alstom (figure 1). Cette éolienne en mer de nouvelle génération est capable d'alimenter en électricité l'équivalent d'environ 5 000 foyers par unité.

Pour répondre aux contraintes strictes imposées par l'environnement marin, Alstom a développé une éolienne simple, robuste et efficace. Cette éolienne fonctionne sans boîte de vitesse grâce à un entraînement direct breveté par Alstom, le système PURE TORQUE (figure 2, **document ressource I**). Ce système protège l'alternateur grâce à un report des efforts mécaniques indésirables du vent vers le mât de l'éolienne, ce qui en optimise la performance. Enfin, l'Haliade 150 présente une productivité accrue grâce à des pales de 73,50 m, parmi les plus longues au monde, qui constituent le gage d'un meilleur facteur de charge.

Le **document ressource I** présente les éléments constitutifs de l'éolienne.



Figure 1 : Eolienne Offshore Haliade 150



Figure 2 : Système de transmission direct PURE TORQUE

L'analyse fonctionnelle du besoin contribue à la caractérisation des fonctions de service attendues et générées par l'usage de l'éolienne. L'analyse fonctionnelle présentée se limite à la phase de fonctionnement nominale (figure 3).

- FP1 Convertir l'énergie cinétique de l'air en puissance électrique adaptée au réseau (Analyse fonctionnelle technique présentée sur le **document ressource II**)
- FC1 Résister à l'air ambiant
- FC2 Résister à l'eau de mer
- FC3 S'adapter aux fonds marins
- FC4 Etre facilement repérable par les embarcations

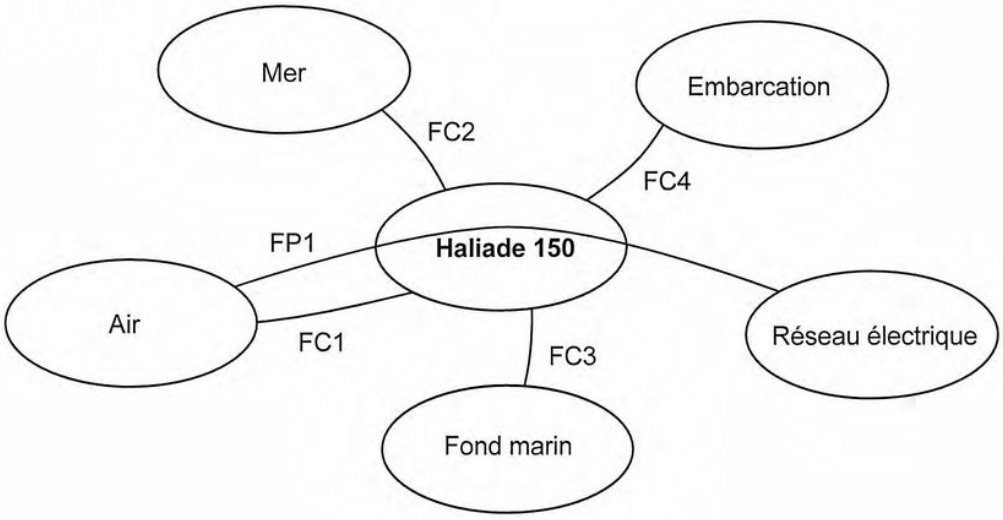


Figure 3 : Diagramme des interacteurs en phase de fonctionnement normal

Tournez la page S.V.P.

Le sujet s'articule autour de 5 sous parties largement indépendantes.

1. La première partie vous propose d'appréhender les conditions de fonctionnement de l'éolienne en fonction des conditions climatiques *(FT1.1.2 et FT1.1.3, automatisme, grafcet)*
2. La deuxième partie porte sur la génération du couple par les pales *(FT1.1.1, statique, cinématique, résistance des matériaux)*
3. La troisième partie s'intéresse à la transmission du couple *(FT2, FT1.2, théorie des mécanismes, résistance des matériaux)*
4. Dans la quatrième partie, nous étudions la conception et la fabrication du hub *(FT1.2, conception, fabrication, matériaux)*
5. Enfin la cinquième partie vous propose de concevoir le guidage en rotation du hub ainsi que la transmission du couple au rotor (*FT2* et *FT1.2*) *(Conception)*

I. Etude des phases de fonctionnement de l'éolienne *(FT1.1.2 et FT1.1.3)*

Dans cette partie, on s'intéresse aux phases de démarrage, d'orientation et d'arrêt de l'éolienne du point de vue de la partie commande.

Que les pales tournent ou pas, la nacelle de l'éolienne est maintenue face au vent grâce à une couronne d'orientation située entre le mât et la nacelle **(documents ressources I et III)**.

Celle-ci est actionnée par l'intermédiaire de sept moteurs électriques Mn_i (avec i = 1,…,7) **(document ressource III).** Une fois positionnée, la nacelle est maintenue immobilisée grâce à huit freins hydrauliques Fh_j (avec j = 1,…,8) jusqu'à ce qu'un ordre de réorientation soit donné.

Les conditions climatiques sont des paramètres importants pour contrôler le bon fonctionnement de l'éolienne. L'éolienne doit fonctionner uniquement lorsque les conditions nominales suivantes sont réunies :

- Vitesse moyenne du vent : < 25 m/s (90 km/h) pendant 10 minutes consécutives
- Vitesse maximale des rafales : 50 m/s pendant 10s ou 70 m/s pendant 3 secondes
- Température extérieure : de -10°C à 40°C

Si ces conditions ne sont pas réunies, l'éolienne doit rester à l'arrêt ou être arrêtée immédiatement.

L'incidence des pales par rapport à la direction du vent est régulée en fonction de la vitesse du vent par l'intermédiaire de la couronne d'orientation située entre chaque pale et le hub **(document ressource III)**. L'orientation de chaque pale est assurée par un moteur électrique Mp_k (avec k = 1,…,3). Lorsque les conditions climatiques ne sont pas respectées, la procédure d'arrêt consiste à désactiver la régulation de l'incidence des pales et à positionner les pales en « position drapeau » grâce aux moteurs Mp_k.

Pour redémarrer l'éolienne, la régulation de l'incidence des pales est activée et les pales se remettent à tourner si le vent est suffisant.

Question I.1 : Proposer un capteur permettant de mesurer la vitesse du vent. Vous expliquerez son fonctionnement et la nature du signal de sortie.

Question I.2 : À partir de l'inventaire des entrées du système concernant les conditions climatiques **(document ressource III)**, élaborer la condition de fonctionnement normale CFN de l'éolienne.

Tournez la page S.V.P.

Question I.3 : On considère un état initial pour lequel la nacelle est immobilisée. À partir de l'inventaire des entrées/sorties **(document ressource III)**, établir le grafcet décrivant la procédure de réorientation de la nacelle.

Question I.4 : On considère un état initial pour lequel les pales sont en rotation. À partir de l'inventaire des entrées/sorties **(document ressource III)**, établir le grafcet décrivant la mise en drapeau des pales puis la reprise de la régulation lorsque les conditions de fonctionnement sont réunies.

II. Conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique *(FT1.1.1)*

Nous proposons dans cette partie d'étudier tout d'abord la quantité d'énergie cinétique apportée par le vent potentiellement récupérable. Ensuite nous étudierons comment est généré le couple grâce aux pales de l'éolienne afin d'en déduire des contraintes sur leur forme et leur matériau.

Question II.1 : Soit S la surface balayée par les pales de l'éolienne, $\mathbf{V_{v/s}}$ la vitesse du vent par rapport au sol supposée constante et orientée face au rotor, et ρ la masse volumique de l'air. Etablir l'expression de la masse d'air qui traverse la surface balayée chaque seconde.

Question II.2 : L'éolienne freine elle même le vent qui la traverse donc, selon la loi de Betz, la puissance maximale récupérable P_{max} n'est qu'une partie de la puissance théoriquement récupérable P_{th} avec $P_{max} = 16/27 * P_{th}$. En déduire l'expression de la puissance P_{max}, c'est-à-dire l'énergie cinétique maximale récupérable par l'éolienne à chaque seconde.

Question II.3 : On rappelle que la masse volumique de l'air ρ varie en fonction de la température et de l'altitude. Quels sont donc les endroits les plus favorables pour améliorer le rendement de l'éolienne indépendamment de la vitesse du vent ? On fixe ρ=1,25kg/m^3, $\mathbf{V_{v/s}}$ = 10m/s et $S = 17.10^3$ m^2 et 16/27 ≅ 0,6. En déduire la valeur de la puissance maximale récupérable P_{max}.

On propose maintenant d'étudier le profil des pales. On considère l'éolienne face au vent et une section d'une des pales de l'éolienne à une distance l de l'axe de rotation (**document ressource IV)**. On définit la vrille de la section de la pale par l'angle β.

Chaque extrémité de pale se situe à une distance L de l'axe de rotation et on nomme ω (rad/s) (ou N (tr/min)) la vitesse de rotation des pales.

Question II.4 : Calculer l'expression de la vitesse de la pale par rapport au sol $\mathbf{V_{p/s}}$ au point centre de la section. Effectuer l'application numérique pour une fréquence de rotation des pales de 12 tr/min et pour la section située à l = 20 m.

Question II.5 : Sur le **document réponse**, tracer les vecteurs $\mathbf{V_{v/s}}$ et $\mathbf{V_{p/s}}$ au point M avec 10 m/s = 2 cm. En déduire graphiquement la norme du vecteur vitesse $\mathbf{V_{v/p}}$, ou vent apparent, que voit la pale au point considéré.

α est l'angle d'incidence, angle entre la direction du vent apparent et la pale. L'écoulement du vent autour du profil aérodynamique de la pale génère une action mécanique du vent sur la pale dont la résultante F au point considéré et dans la section considérée possède deux composantes :

- une force de portance Fp perpendiculaire à la direction du vent apparent
- une force de trainée Ft colinéaire à la direction du vent apparent et qui s'oppose au mouvement de la pale.

Question II.6 : Représenter F sur le document réponse ainsi que ses deux composantes Fp et Ft au point considéré avec F = 6 cm. En déduire graphiquement la direction et la norme (en cm) de la force Fc au point M qui engendre le couple autour de l'axe de l'éolienne ainsi que la force axiale Fa encaissée par la pale.

Question II.7 : Exprimer les projections Fc et Fa en fonction de Fp, Ft, α et β.

Question II.8 : Si on suppose que, pour un fonctionnement optimal, l'angle d'incidence α vaut 5 degrés, donner l'expression de l'angle de vrille β en fonction de $\mathbf{V_{v/s}}$, ω et l. Conclure sur la forme de la pale.

Il s'agit maintenant de rechercher le matériau, de masse volumique ρ, qui permettra de **minimiser la masse *m*** de chaque pale et de résister aux contraintes mécaniques. Dans une première approche, on fait l'hypothèse que chaque pale est pleine, de longueur L (imposée) et de section circulaire de rayon r (libre) (**document ressource V**). Chaque pale est supposée encastrée à une extrémité dans le hub, et principalement soumise à une sollicitation de flexion due à la charge uniformément répartie Fa.

La charge *Fa* qui peut mener à la rupture de la pale s'exprime en fonction de la contrainte maximale σ_{max} et du moment quadratique I_{Gz} de la manière suivante :

$$F_a = \frac{\sigma_{max} I_{Gz}}{\frac{L}{2}^2 r}$$

Question II.9 : Déterminer les expressions de la masse *m* et du moment quadratique I_{Gz} en fonction des données du problème.

Question II.10 : Déterminer les fonctions f_1, f_2 *et* f_3 telles que : $m = f_1 . f_2 . f_3$ avec :

- f_1 *: fonction des données matériau* (ρ, σ_{max})
- f_2 *: fonction de la géométrie (L)*
- f_3 *: fonction du chargement* (F_a)

Le diagramme (log-log) Contrainte maximale σ_{max} / Masse volumique ρ (**document ressource V**) permet de choisir un matériau en fonction de I_p, l'indice de performance, tel que :

$$I_p = \frac{\sigma_{max}^n}{\rho}$$

Question II.11 : Parmi les matériaux retenus dans le diagramme (**document ressource V**), sélectionner le plus performant en expliquant la méthode utilisée.

Question II.12 : Proposer un procédé de fabrication adéquat pour le matériau choisi. Justifier votre réponse.

III. Transmission du couple par le système *Pure Torque* *(FT2, FT1.2)*

Nous proposons dans cette partie d'étudier des dispositifs de transmission du couple du hub vers le rotor de l'alternateur. Le maintien d'un bon rendement de cet alternateur passe par la maîtrise de son entrefer qui est de l'ordre de quelques millimètres.

Pour assurer une faible valeur de cet entrefer ainsi que peu de variation, la liaison pivot du rotor de l'alternateur doit supporter un chargement bien déterminé et stable. Pour cela, il est nécessaire de filtrer les efforts transmis du hub au rotor qui solliciteraient le guidage en rotation de ce dernier. Ces efforts « indésirables » peuvent provenir des sollicitations que subit le hub répercutées sur le rotor ou bien d'un défaut d'alignement entre le hub et le rotor.

Le système PURE TORQUE développé par ALSTOM permet de transmettre un couple pur au rotor de l'alternateur suivant son axe de rotation. Mais avant de présenter ce système, nous allons étudier d'autres dispositions possibles.

La solution la plus simple est d'envisager une transmission rigide par un unique contact ponctuel comme présenté sur le **document ressource VI**.

Etudes préliminaires

Question III.1 : Faire le graphe des liaisons relatif à la modélisation du **document ressource VI**. Donner son degré d'hyperstatisme *h* en précisant la démarche utilisée.

Question III.2 : Montrer par le PFS en quoi une telle disposition, en plus de transmettre un couple au rotor, sollicite la liaison pivot entre le rotor et la nacelle. Pour cela nous supposerons le fonctionnement de l'éolienne en régime permanent (hypothèse conservée par la suite).

Comme dit précédemment, il est important de ne transmettre qu'un couple pur au rotor de l'alternateur suivant son axe de rotation par rapport à la nacelle. Le **document ressource VII** présente dans ce but une transmission par 3 contacts ponctuels équirépartis.

Question III.3 : Que devient le degré d'hyperstatisme de cette évolution?

Question III.4 : A quelle condition sur les efforts au niveau des contacts ponctuels peut-on avoir transmission d'un couple pur ?

Question III.5 : En cas d'un défaut d'alignement, peut-on toujours envisager la transmission d'un couple pur? Expliquer.

Tournez la page S.V.P.

Une solution plus complexe est alors envisagée sur le **document ressource VIII**.

Question III.6 : Quel est le nom de cette solution ?

Question III.7 : Donner le degré d'hyperstatisme de cette nouvelle modélisation.

Il reste à vérifier que cette solution permet la transmission d'un couple pur. Pour cela on admettra que les masses des solides pourront être négligées et on se limitera à une étude statique dans la disposition du **document ressource VIII**.

Question III.8 : Montrer que, sous ces hypothèses, seule la transmission d'un couple pur est réalisée entre le hub et le rotor. On pourra éventuellement s'aider de l'exposé du **document ressource XII**.

Solution ALSTOM

La recherche d'une réalisation compacte a conduit à rejeter ce type de solution pour s'orienter vers un accouplement possédant une forte rigidité en torsion pour la transmission du couple (rigidité angulaire suivant l'axe de rotation du rotor) mais avec une rigidité nettement plus faible pour les autres mouvements. Le schéma de principe de la solution retenue par ALSTOM est présentée sur le **document ressource IX**. Elle utilise 6 poussoirs hydrauliques montés sur 2 circuits fermés et indépendants. La précharge de l'huile dans les circuits est maintenue par des silent-blocks intercalés entre les poussoirs et le rotor. Ces silent-blocks seront modélisés par des ressorts que l'on supposera dans un premier temps comme infiniment rigides.

La disposition 1 présente le hub parfaitement centré avec le rotor et avec tous les poussoirs dans des configurations identiques. La disposition 2 présente un défaut d'alignement du hub par rapport au rotor.

On donne les caractéristiques suivantes :

l_0	longueur des poussoirs au repos (pas de transmission de couple entre le hub et le rotor)
p_0	pression dans les circuits + et – au repos
Δl_i^+	variation de longueur du poussoir i sur le circuit + en travail
p^+	pression dans le circuit + en travail
Δl_i^-	variation de longueur du poussoir i sur le circuit - en travail
p^-	pression dans le circuit - en travail
Δp	différence de pression entre les circuits ($p^+ - p^-$)
s	section d'un poussoir
r	rayon d'agencement des poussoirs sur le hub

Question III.9 : Montrer que cette solution permet aussi de transmettre un couple pur au rotor.

<u>Rigidité en torsion</u>

Le défaut de positionnement relatif étant supposé petit, il peut être représenté par un torseur des petits déplacements. Toujours pour simplifier l'étude, ce défaut sera supposé plan et défini par le torseur suivant :

$$\left\{\mathcal{D}_{\text{hub/rotor}}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \alpha\vec{x} \\ u\vec{y} + v\vec{z} \end{array}\right\}_A$$

On notera $(B_i, \vec{u_i})$ l'axe d'un poussoir.

Question III.10 : Sans tenir compte des communications hydrauliques entre les poussoirs, exprimer les variations de longueurs Δl_1+, Δl_2+ et Δl_3+ des poussoirs du circuit + en fonction de r, u, v et α (Rappel : les ressorts sont considérés infiniment rigides).

Question III.11 : En tenant compte maintenant de ces communications et de l'incompressibilité du fluide, que peut-on en conclure quant à α ? Que dire de la raideur en torsion sous ces hypothèses (fluide incompressible et ressorts infiniment rigides)

Pour mieux évaluer la raideur en torsion, il faut maintenant tenir compte de la rigidité des silent-blocks (l'hypothèse de fluide incompressible sera elle conservée) et on note :

k	raideur d'un ressort
u_0	longueur d'un ressort dans la disposition 1
Δu_i^+	variation d'écrasement du ressort du poussoir i sur le circuit + en travail
Δu_i^-	variation d'écrasement du ressort du poussoir i sur le circuit - en travail

Question III.12 : Quelle relation peut-on écrire entre les écrasements Δu_i^+ au niveau des différents poussoirs du circuit + ?

Question III.13 : Pour le poussoir i, quelle est la relation entre Δu_i^+ et Δu_i^- ?

Question III.14 : Que devient la raideur en torsion de cet accouplement ?

<u>Pré-dimensionnement hydraulique</u>

Question III.15 : Montrer que lorsqu'un couple C est transmis entre le hub et le rotor, la pression moyenne dans les circuits + et – vaut p_0.

Question III.16 : Connaissant la pression maximale p_{max} qu'un circuit hydraulique peut supporter, proposer et justifier une valeur pour régler la pression p_0 au repos.

Question III.17 : Connaissant le couple maximal C_{max} qui pourra être transmis au rotor, comment choisir les valeurs du produit *s.r* ?

IV. Etude de la conception et de la fabrication du hub *(FT1.2)*

Dans cette partie, on propose d'étudier la conception et la fabrication du hub et en particulier la liaison encastrement entre chacune des trois couronnes d'orientation des pales et le hub **(document ressource X)**.

Question IV.1 : Le hub est réalisé dans un matériau désigné par EN-GJS-400. Expliquer cette désignation.

Question IV.2 : La dureté Brinell du matériau vaut 180 HB. Expliquer le principe de l'essai de dureté Brinell.

Question IV.3 : Proposer un procédé permettant l'obtention de la pièce brute. Justifier votre réponse par des arguments technico économiques.

Question IV.4 : Expliquer, dans les tableaux du document réponse, les spécifications géométriques relatives à la liaison encastrement entre chacune des trois couronnes d'orientation et le hub **(document ressource X).**

Question IV.5 : Expliquer l'intérêt d'utiliser l'exigence du maximum de matière pour la cotation se rapportant à la surface B.

On s'intéresse à l'usinage des surfaces fonctionnelles de la liaison encastrement entre chacune des trois couronnes d'orientation et le hub et en particulier à l'usinage des 150 trous taraudés. L'étude porte sur le perçage du cylindre Ø32 x 160 effectué avant le taraudage.

Question IV.6 : À partir du **document ressource XI**, déterminer les outils les plus adaptés à l'opération considérée. Justifier votre réponse.

L'outil retenu pour la production des trous est le modèle Corodrill 880. Cet outil possède deux plaquettes disposées de manière particulière (**document ressource XI**), c'est pourquoi nous ferons l'hypothèse que cet outil ne possède qu'une seule lèvre (ou arête de coupe) de longueur *Dc/2*.

Question IV.7 : On souhaite déterminer les conditions de coupe afin de maximiser le débit de copeaux *Q* (m^3/s). Déterminer l'expression analytique du débit de copeaux *Q* pour l'opération de perçage en fonction des paramètres de coupe suivants :

- *Vc* (m/min) la vitesse de coupe,
- *f* (mm/tr) l'avance par tour,
- *Dc* (mm) le diamètre de l'outil,

Question IV.8 : À partir des préconisations du constructeur pour l'outil et du matériau utilisé (**document ressource XI),** déterminer les conditions de coupe *Vc* et *f* qui permettent de maximiser le débit de copeaux. En déduire les valeurs de la fréquence de broche *N* (tr/min) et de la vitesse d'avance *Vf* (mm/min).

On fait l'hypothèse que l'effort de coupe *Fc* de l'outil sur la pièce est principalement dirigé dans la direction de la vitesse de coupe et est proportionnel à la section coupée *S* avec :

$Fc = kc \times S$ et *Kc* (Mpa) la pression de coupe supposée constante au contact outil / pièce.

Question IV.9 : Montrer que la puissance maximale *Pc* (kW) développée par l'effort de coupe de l'outil sur la pièce lors de cette opération peut s'écrire :

$$Pc = \frac{f \times Vc \times Dc \times Kc}{120 \times 10^3}$$

Effectuer l'application numérique avec *Kc* = 2000 Mpa.

Question IV.10 : Calculer l'expression du temps d'usinage *Tu* en minutes correspondant à l'usinage des 150 trous de la liaison encastrement. En déduire l'expression du nombre de plaquettes nécessaires à l'usinage des trois liaisons encastrements (une par pale) sachant que la durée de vie *Dv* d'une arête de coupe est égale à 15 min. Effectuer l'application numérique.

Question IV.11 : Proposer et dessiner à main levée une solution d'outillage permettant d'usiner les perçages ⌀32x160 et ⌀38x80 le plus rapidement possible.

V. Conception des liaisons du hub avec l'arbre et le rotor (*FT2* et *FT1.2*)

Il est demandé dans cette partie de proposer une solution technique pour la liaison pivot entre le hub et l'arbre situé à l'extrémité de la nacelle et pour la liaison encastrement entre le hub et un des trois bras de l'accouplement PURE TORQUE.

Liaison pivot entre le hub et l'arbre situé à l'extrémité de la nacelle

Cette liaison doit être réalisée par deux roulements à rouleaux coniques dont les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :

- Roulement de gauche (côté rotor) : 1920 x 1540 x 200
- Roulement de droite (côté nez) : 1450 x 1100 x 170

Sur le **calque réponse**, des croix matérialisent les positions des centres géométriques (et non des centres de poussée) des roulements à dessiner.

Question V.1 : Proposer et justifier la disposition du montage des roulements sur le document réponse.

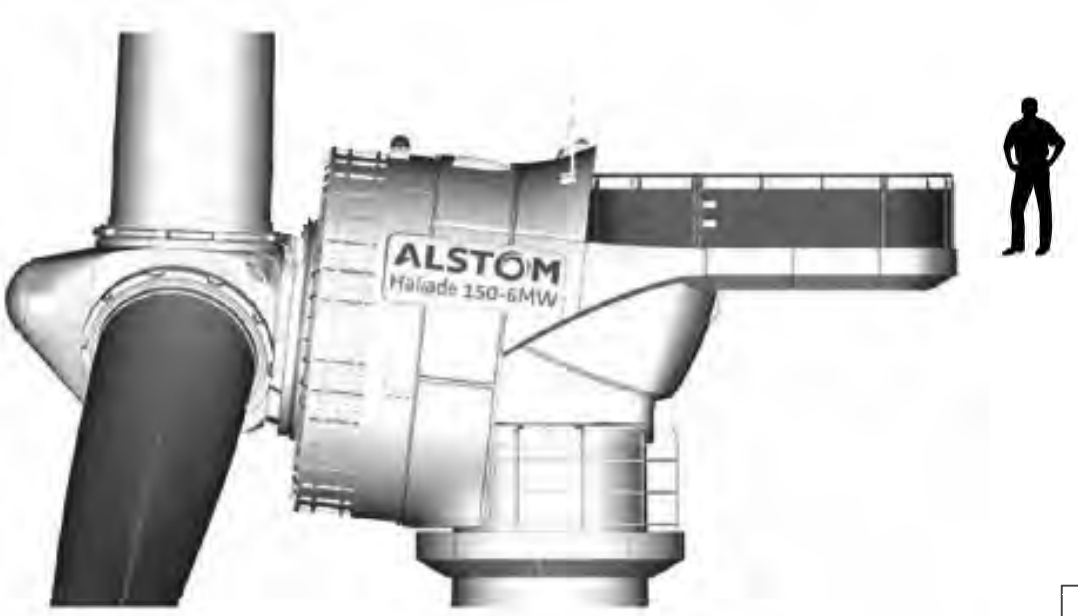
Question V.2 : Compléter le **calque réponse format A3,** par le dessin du montage des roulements en respectant les fonctions d'étanchéité (par chicane) et de réglage des jeux. Les pièces conçues étant de très grandes dimensions, les solutions technologiques devront être adaptées.

Les roulements seront dessinés en coupe avec une représentation détaillée aux proportions cohérentes dans la partie supérieure du montage, et sous forme symbolique dans la partie inférieure.

Question V.3 : Proposer et justifier la solution constructive de la liaison encastrement boulonnée entre un des trois bras de l'accouplement PURE TORQUE et le hub.

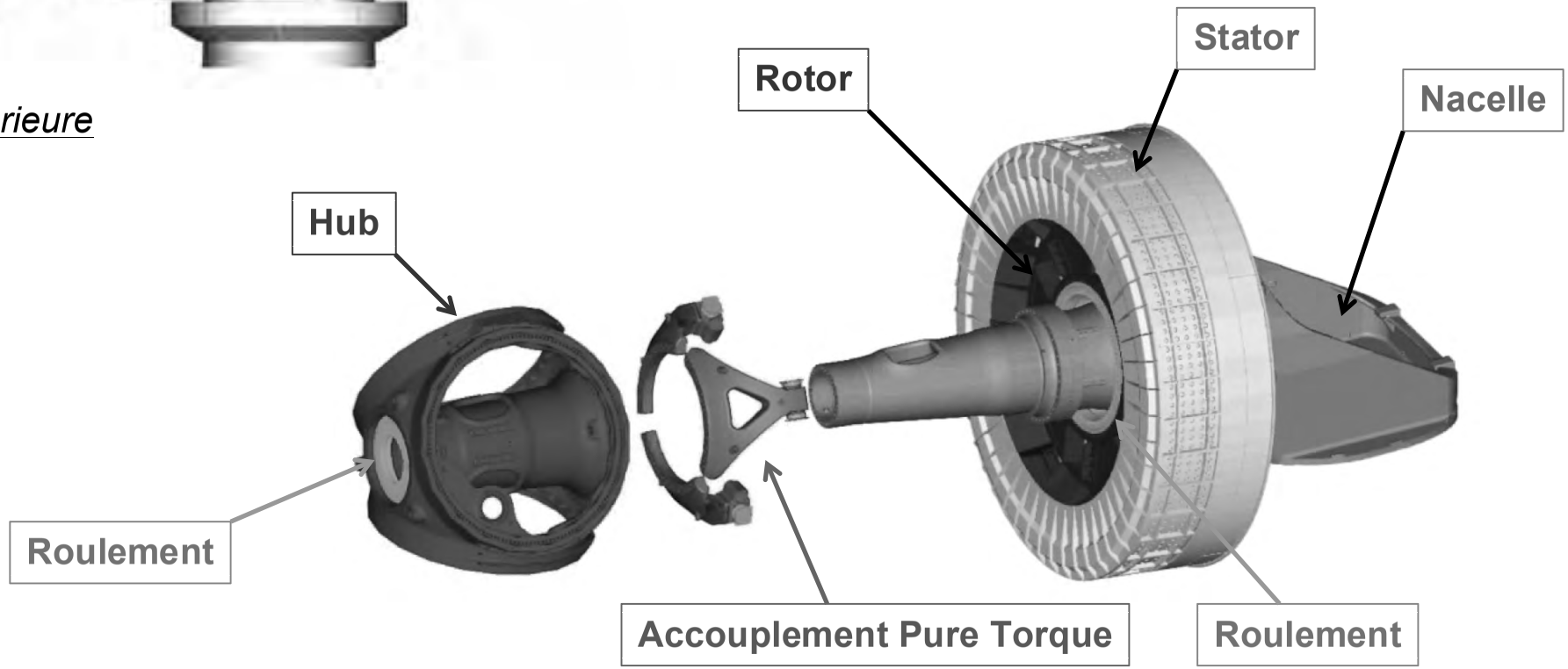
Question V.4 : Compléter le **calque réponse format A3,** par le dessin de la liaison encastrement vissée. La forme du bras devra être compatible avec la morphologie de cet accouplement présenté dans le **document ressource I.** Vous ajouterez les vues nécessaires à la compréhension de votre solution d'assemblage (centrage éventuel, disposition des vis, etc.)

FIN DE L'ENONCE



Vue extérieure

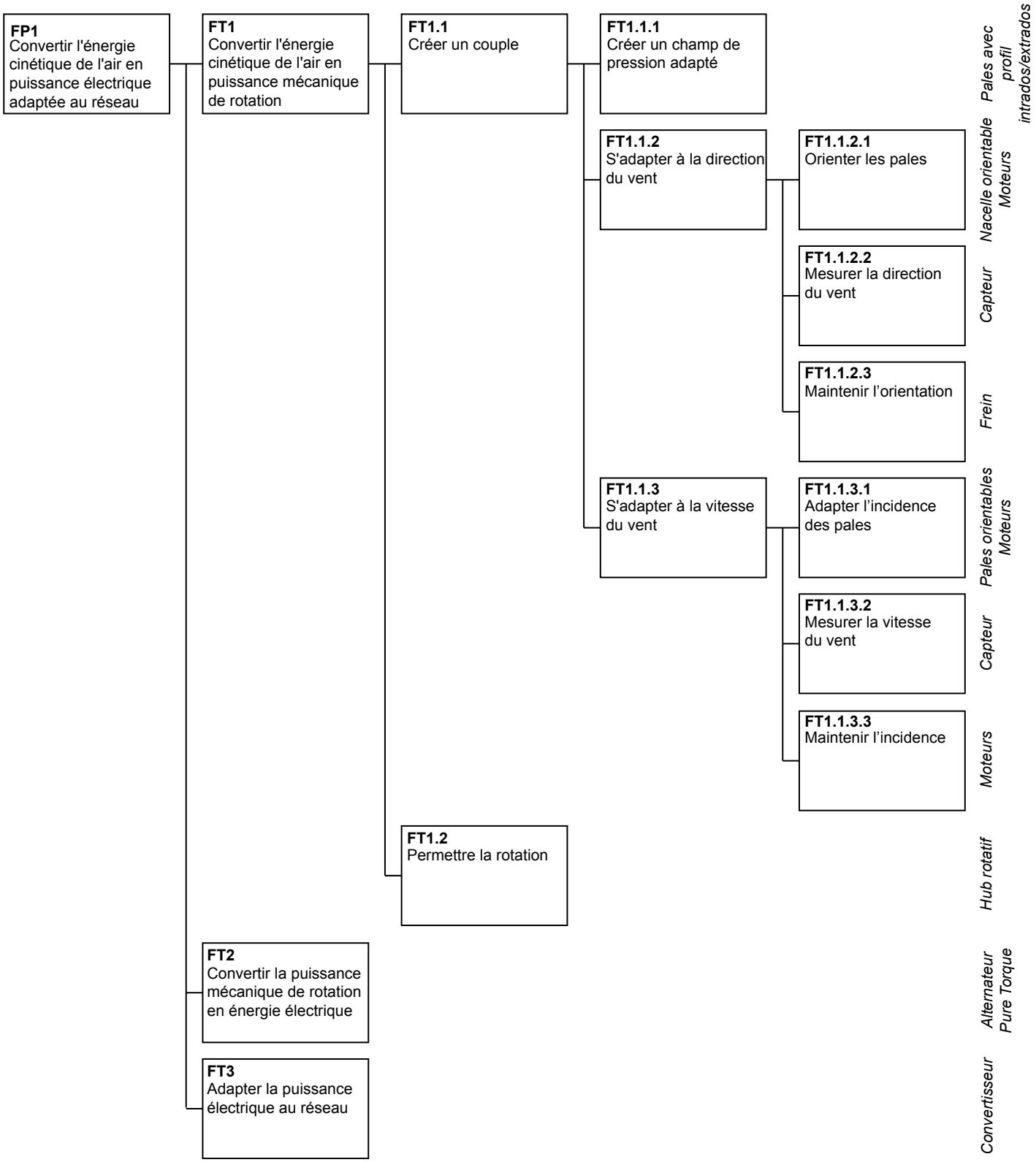
Vue intérieure



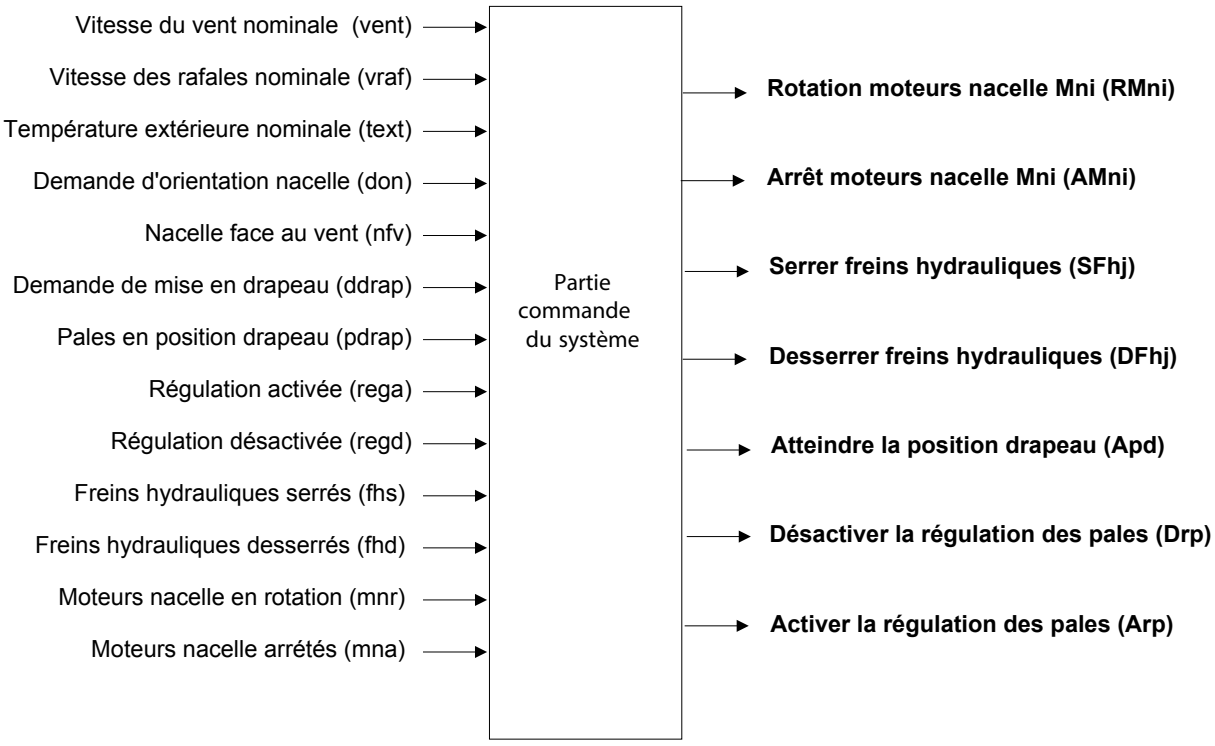
B

DOCUMENT RESSOURCE I

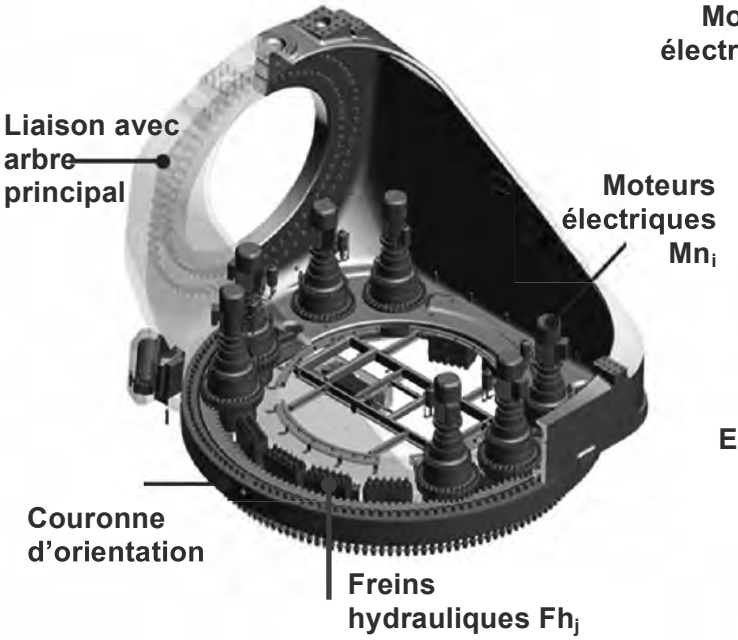
FAST partiel de la FP1



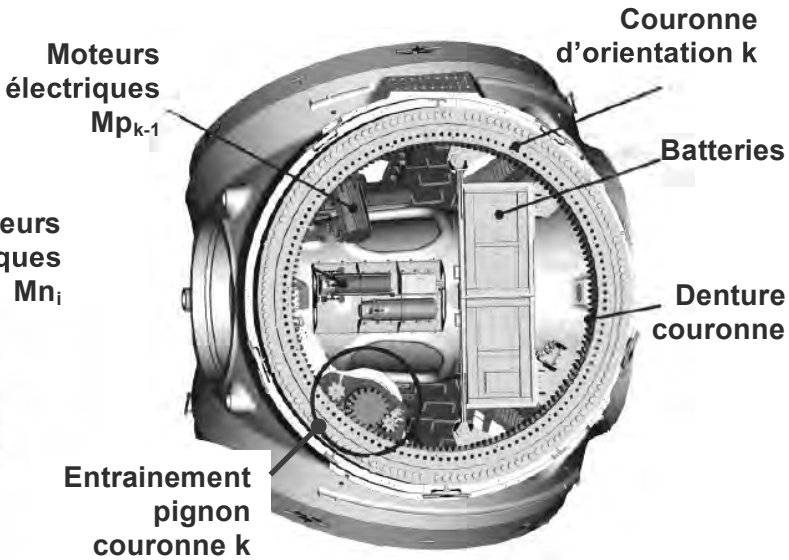
DOCUMENT RESSOURCE II



Orientation nacelle



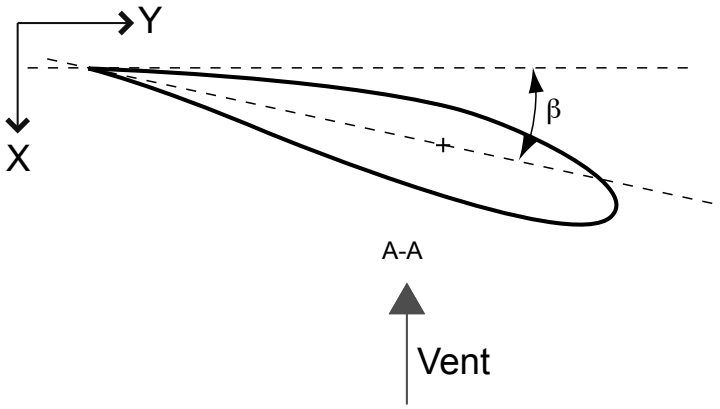
Orientation pales

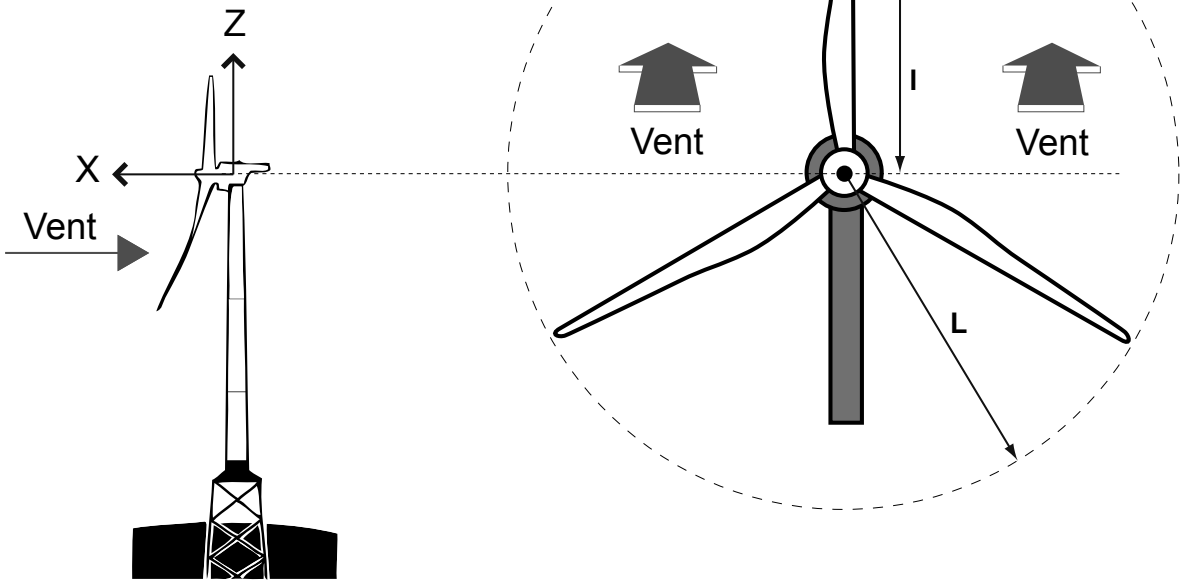


DOCUMENT RESSOURCE III

Paramétrage de l'éolienne







DOCUMENT RESSOURCE IV

Modélisation de la géométrie et du chargement d'une pale

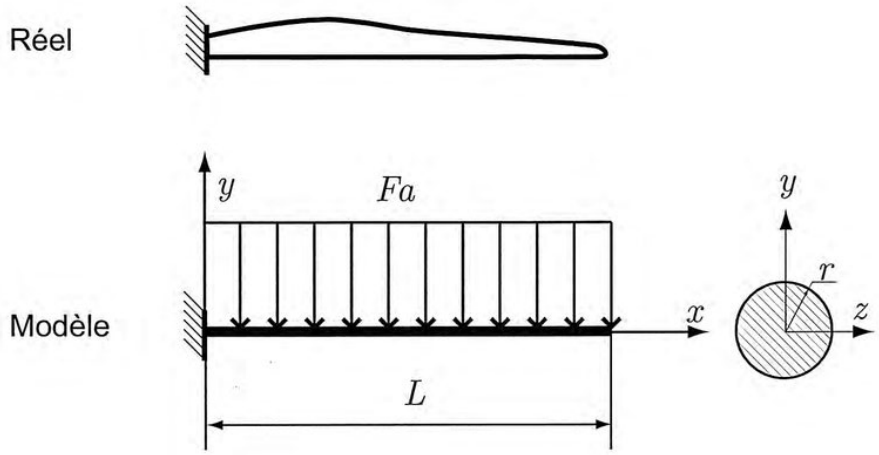
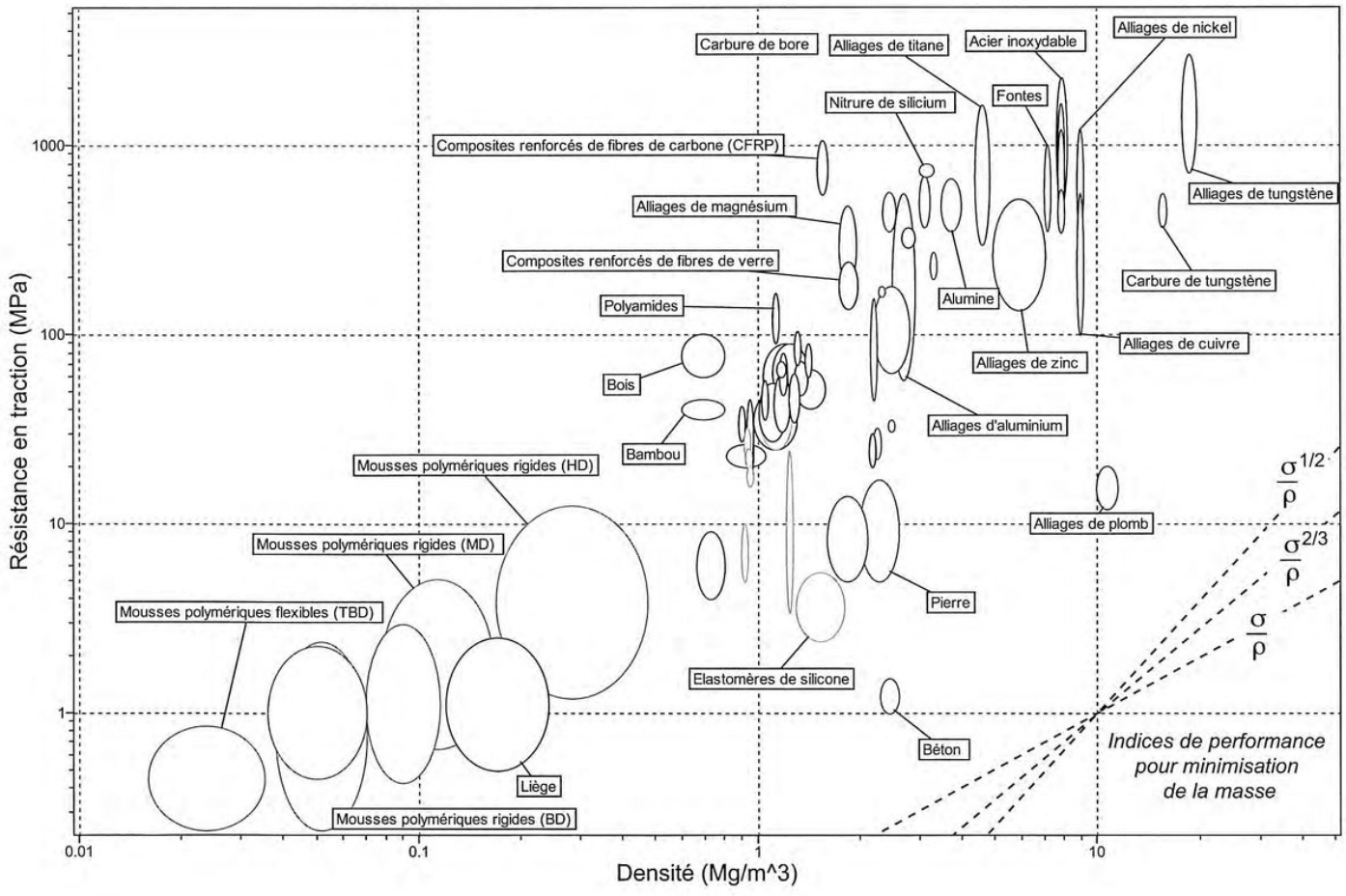
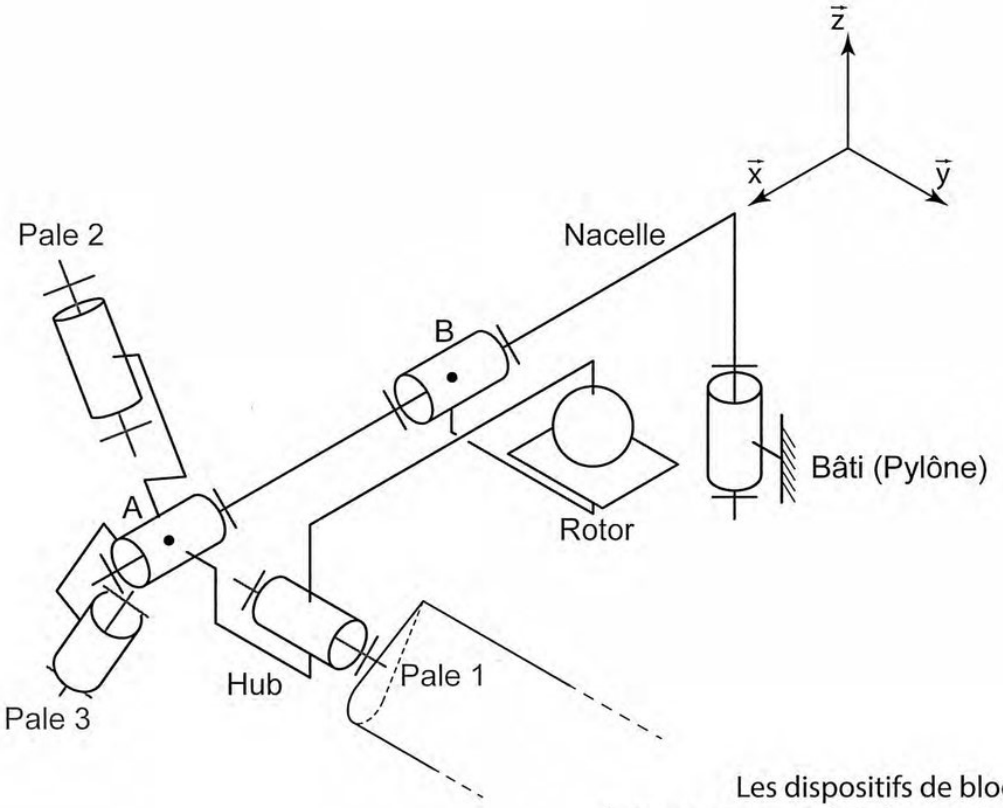


Diagramme de choix d'un matériau



DOCUMENT RESSOURCE V

Première solution



Les dispositifs de blocage des liaisons pivots Hub/Pales et Bâti/Nacelle ne sont pas pris en considération dans ce schéma.

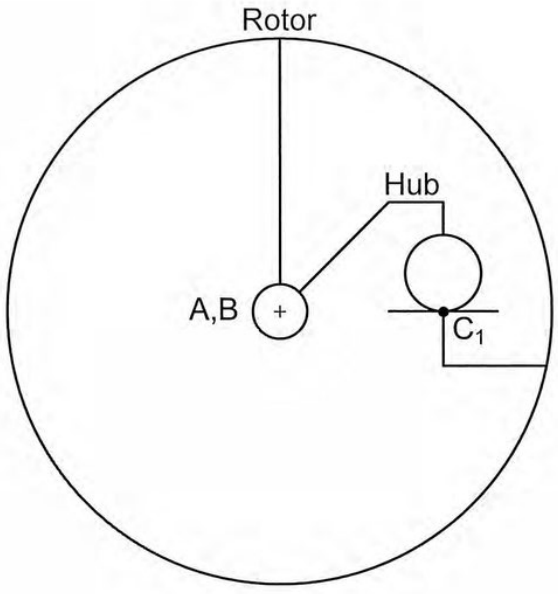
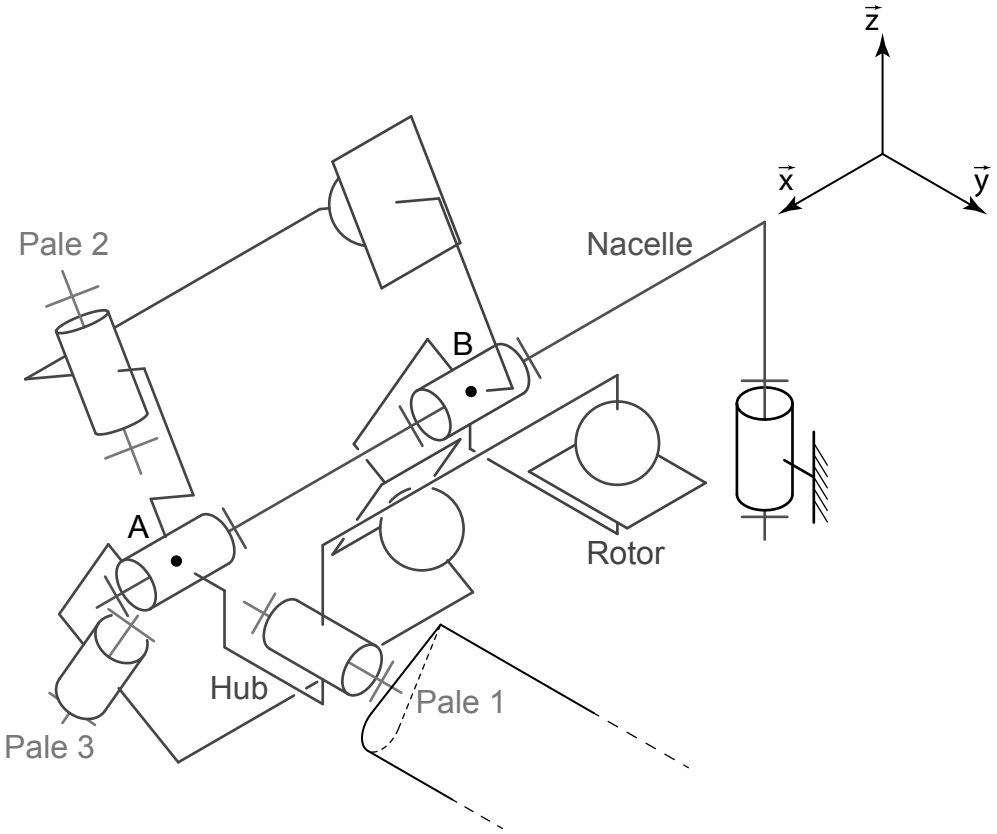


Schéma partiel où seuls le hub et le rotor sont représentés en liaison avec la nacelle.

DOCUMENT RESSOURCE VI

Deuxième solution



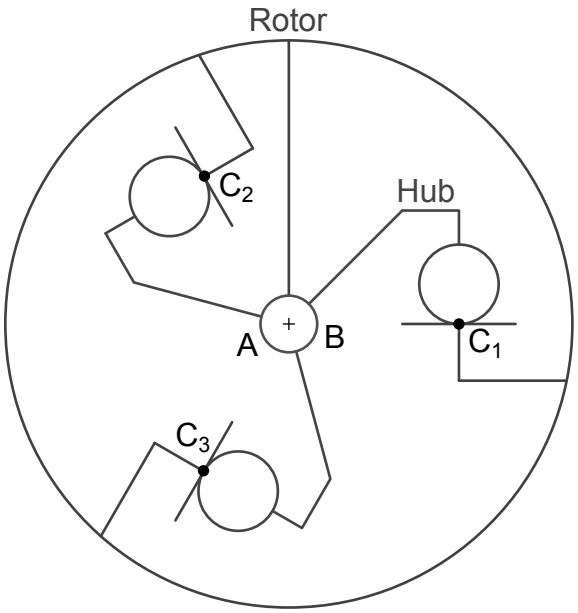
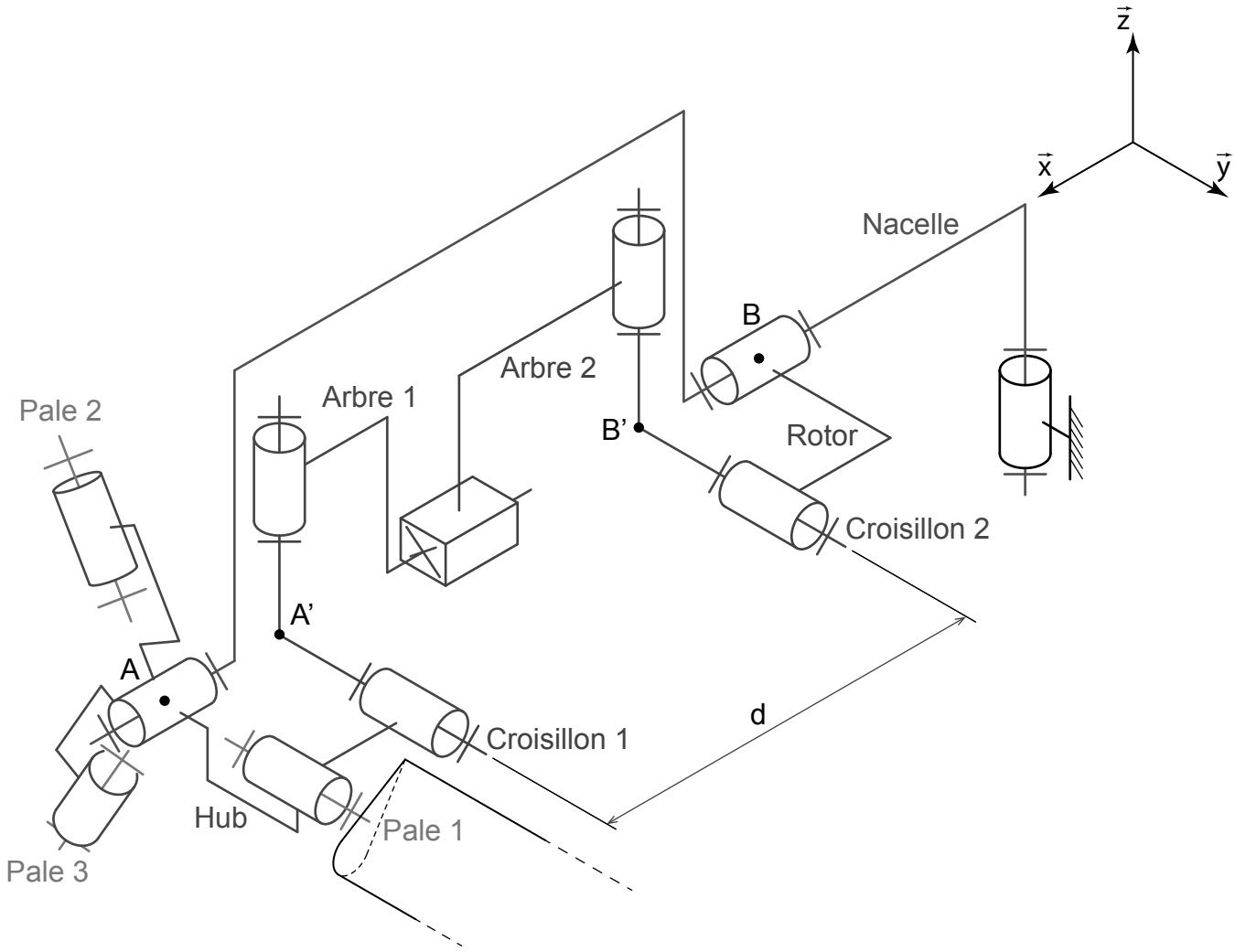


Schéma partiel où seuls le hub et le rotor sont représentés en liaison avec la nacelle.

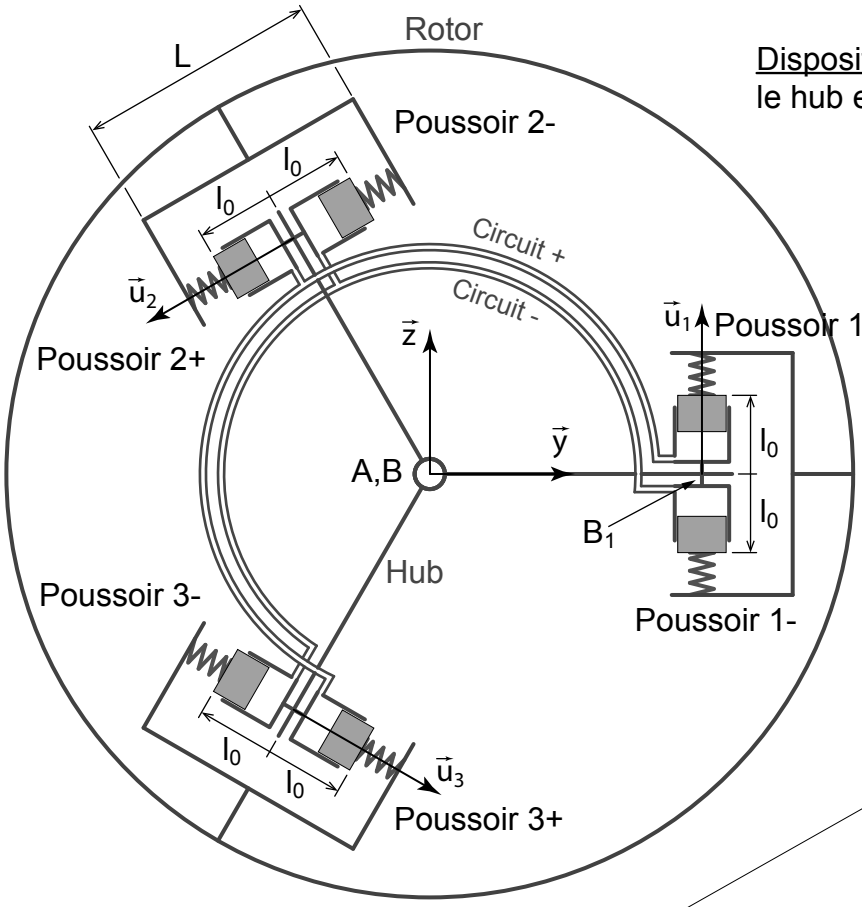
DOCUMENT RESSOURCE VII

Troisième solution



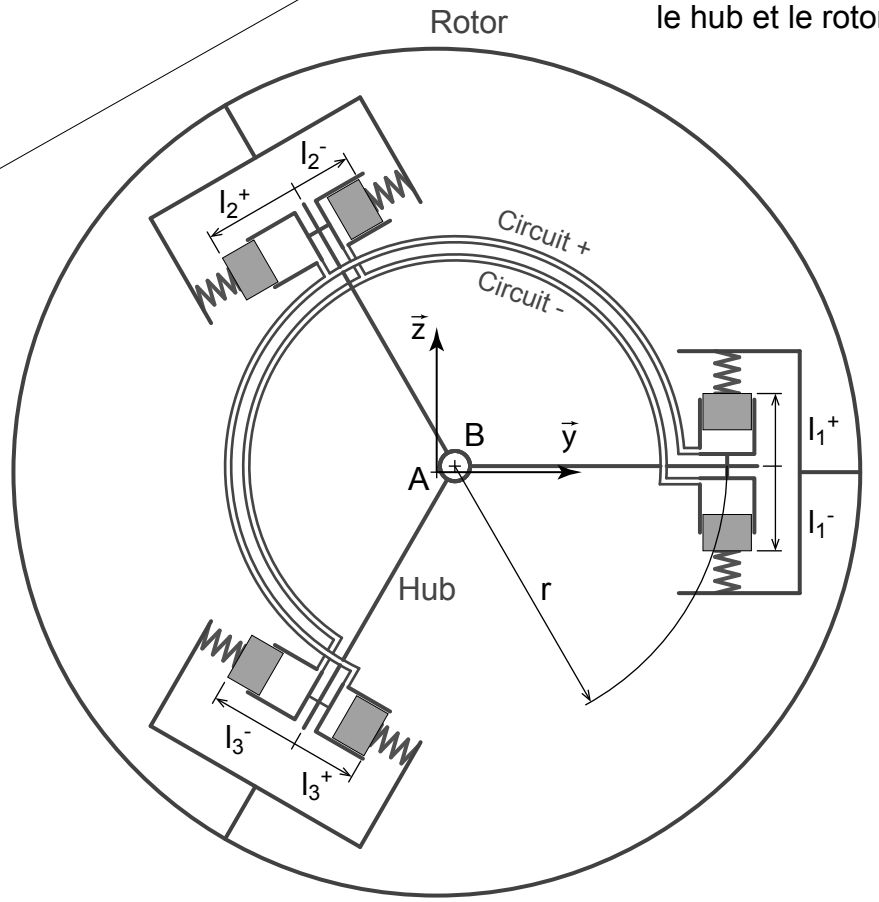
DOCUMENT RESSOURCE VIII

Système PURE TORQUE

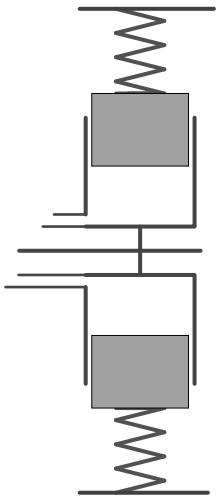


Disposition 1 :
le hub et le rotor sont coaxiaux.

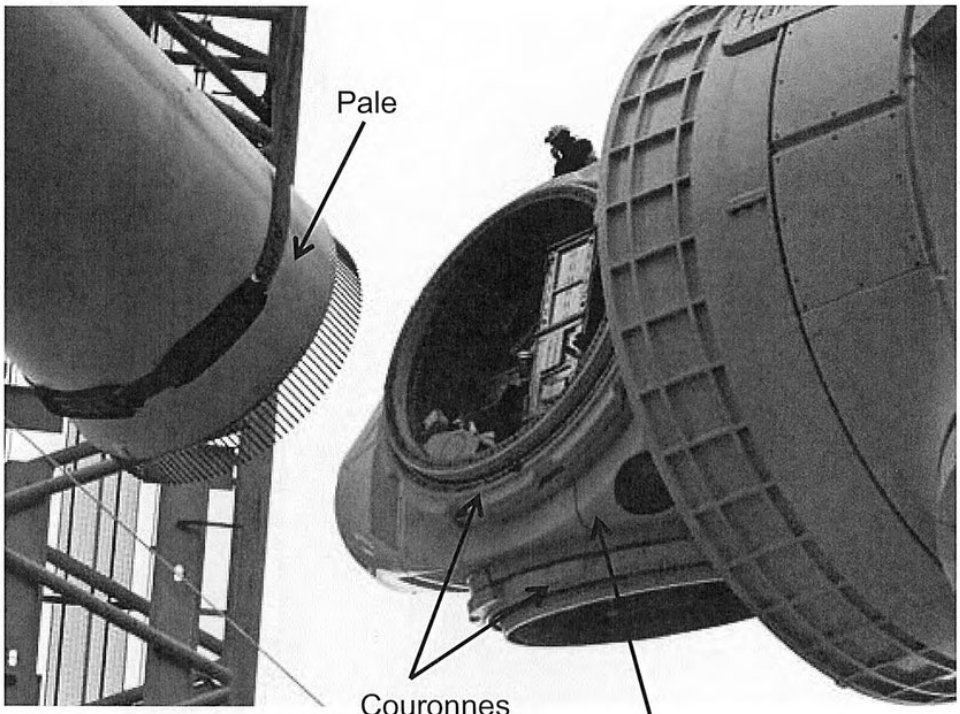
Disposition 2 :
désalignement entre le hub et le rotor.

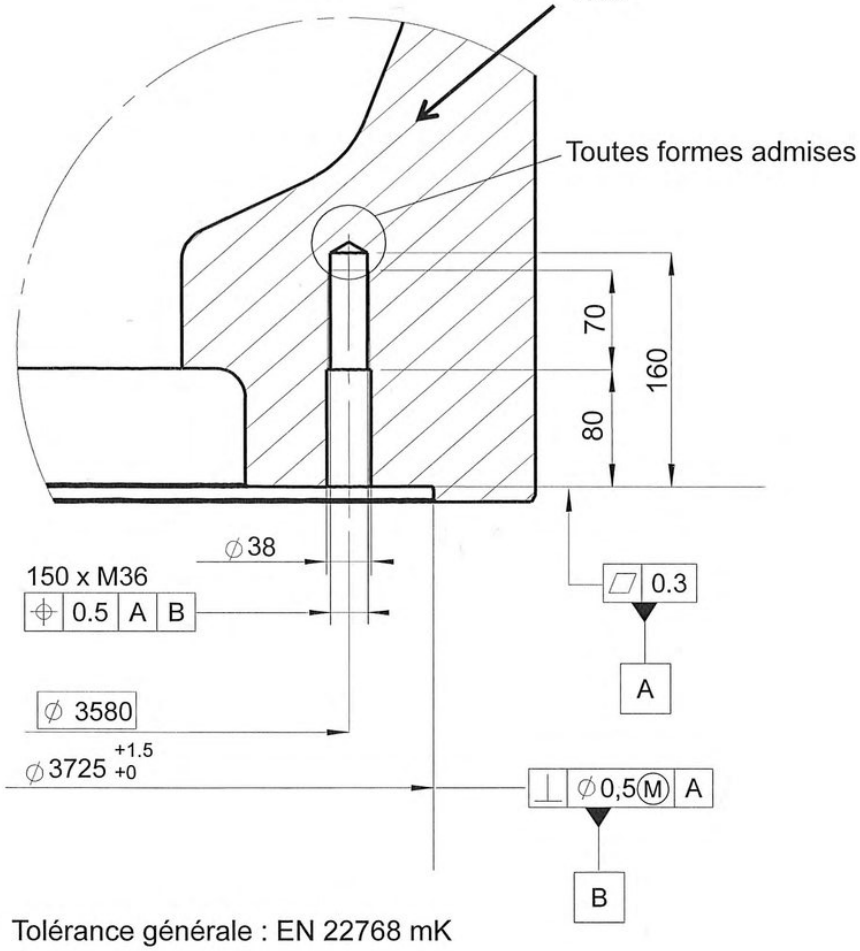


Poussoir i



DOCUMENT RESSOURCE IX

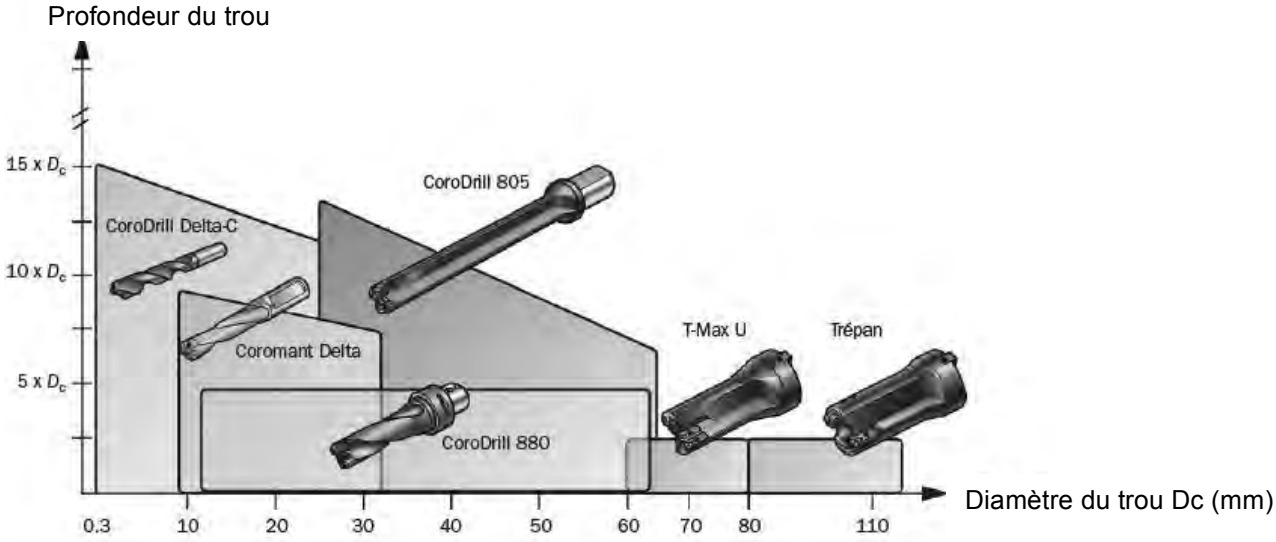




Tolérance générale : EN 22768 mK

DOCUMENT RESSOURCE X



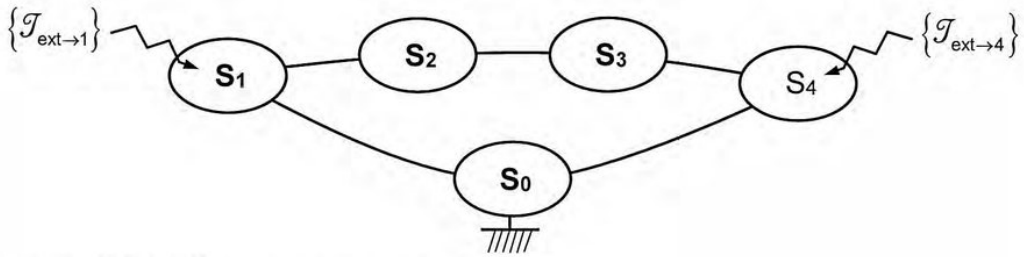


Conditions de coupe recommandées CoroDrill® 880

ISO	CMC	Matière	HB	Nuance ◯ Plaquette périphérique	Vitesse de coupe (m/min)	Diamètre du foret D_C(mm)	Longueur du foret 2-3xDc f (mm/tr)	4xDc f (mm/tr)	5xDc f (mm/tr)
K	07.1	Fonte malléable Ferritique (à copeaux courts)	110-145	4014 4024 4044	140-255 140-230 80-145	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.32 0.10-0.34	0.10-0.28 0.10-0.30	0.10-0.21 0.10-0.23
	07.2	Fonte malléable Perlitique (à copeaux courts)	150-270	4014 4024 4044	100-185 105-170 65-105	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.30 0.10-0.32	0.10-0.24 0.10-0.26	0.10-0.20 0.10-0.21
	08.1	Fonte grise (Faible résistance à la traction)	150-220	4014 4024 4044	225-345 210-310 130-195	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.32 0.10-0.34	0.10-0.28 0.10-0.30	0.10-0.21 0.10-0.23
	08.2	Fonte grise (Forte résistance à la traction)	200-330	4014 4024 4044	110-250 125-230 75-140	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.30 0.10-0.32	0.10-0.24 0.10-0.26	0.10-0.20 0.10-0.21
	09.1	Fonte sphéroïdale (Ferritique)	150-230	4014 4024 4044	120-235 125-215 80-135	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.30 0.10-0.32	0.10-0.24 0.10-0.26	0.10-0.20 0.10-0.21
	09.2	Fonte sphéroïdale (Perlitique)	200-330	4014 4024 4044	100-215 110-200 70-125	30.00-35.99 36.00-43.99	0.10-0.30 0.10-0.32	0.10-0.24 0.10-0.26	0.10-0.20 0.10-0.21

Chaîne de solides – Liaison équivalente

Soit une chaîne de solide telle que présentée dans la figure suivante.



On notera par la suite :

- $\mathcal{L}_{i\text{-}j}$ la liaison entre les solides S_i et S_j ;
- $\{\mathcal{T}_{i\to j}\}$ le torseur de l'action mécanique de S_i sur S_j ;
- $\vec{\mathcal{R}}_{i\to j}$ la résultante de cette action ;
- $\vec{\mathcal{M}}_{A,i\to j}$ le moment de cette action exprimé au point A.

L'étude sera limitée aux hypothèses suivantes :

- les solides sont en équilibre dans le repère R_g lié à S_0 et supposé galiléen ;
- les liaisons sont parfaites ;
- seuls les solides S_1 et S_4 sont soumis à des actions extérieures à la chaîne (actions du vent, pesanteur, forces électromagnétiques …).

L'écriture du PFS appliqué successivement aux solides S_2 et S_3 conduit à l'affirmation suivante :

$$\{\mathcal{T}_{1\to2}\} = \{\mathcal{T}_{2\to3}\} = \{\mathcal{T}_{3\to4}\}$$

Il en ressort que l'action mécanique de S_3 sur S_4 est d'une forme en accord avec :

- les caractéristiques de la liaison $\mathcal{L}_{3\text{-}4}$;
- les caractéristiques des liaisons $\mathcal{L}_{1\text{-}2}$ et $\mathcal{L}_{2\text{-}3}$.

Exemple :

Si $\mathcal{L}_{3\text{-}4}$ est une liaison pivot d'axe $(A,\vec{x})$ alors :

$$\vec{\mathcal{M}}_{A,3\to4}.\vec{x} = 0$$

Si en plus $\mathcal{L}_{2\text{-}3}$ est une liaison pivot d'axe $(B,\vec{y})$, on peut affirmer que dans ce cas d'étude :

$$\vec{\mathcal{M}}_{B,3\to4}.\vec{y} = 0$$

Enfin, si $\mathcal{L}_{1\text{-}2}$ est une liaison glissière de direction $\vec{z}$, on peut affirmer, toujours dans ce cas d'étude, que :

$$\vec{\mathcal{R}}_{3\to4}.\vec{z} = 0$$

DOCUMENT RESSOURCE XII

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours : Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

L'usage de calculatrices est interdit.

Cahier réponses

Épreuve de Sciences Industrielles C

Banque PT - 2014

C

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

I.1 - *Proposer un capteur permettant de mesurer la vitesse du vent. Vous expliquerez son fonctionnement et la nature du signal de sortie.*

I.2 - *À partir de l'inventaire des entrées du système concernant les conditions climatiques, élaborer la condition de fonctionnement normale* ***CFN*** *de l'éolienne*

I.3 - *À partir de l'inventaire des entrées/sorties, établir le grafcet décrivant la procédure de réorientation de la nacelle.*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

I.4 - *A partir de l'inventaire des entrées/sorties, établir le grafcet décrivant la mise en drapeau des pales puis la reprise de la régulation lorsque les conditions de fonctionnement sont réunies.*

II.1 - *Etablir l'expression de la masse d'air qui traverse la surface balayée chaque seconde*

II.2 - *En déduire l'expression de la puissance Pmax, c'est-à-dire l'énergie cinétique maximale récupérable par l'éolienne à chaque seconde*

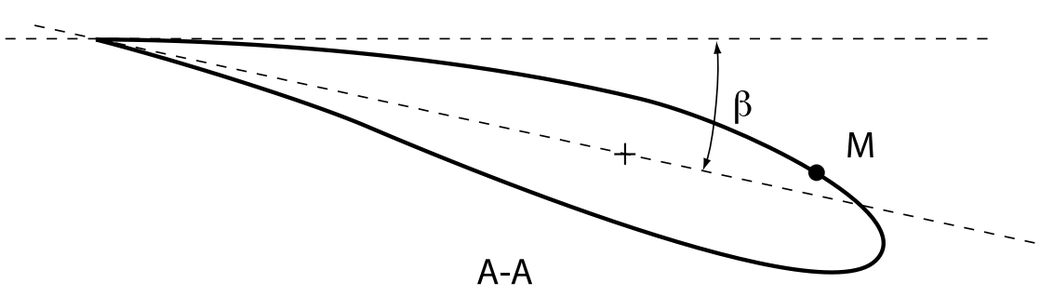
Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.3 - *Quels sont donc les endroits les plus favorables pour améliorer le rendement de l'éolienne indépendamment de la vitesse du vent ? En déduire la valeur de la puissance théoriquement récupérable* P_{th}.

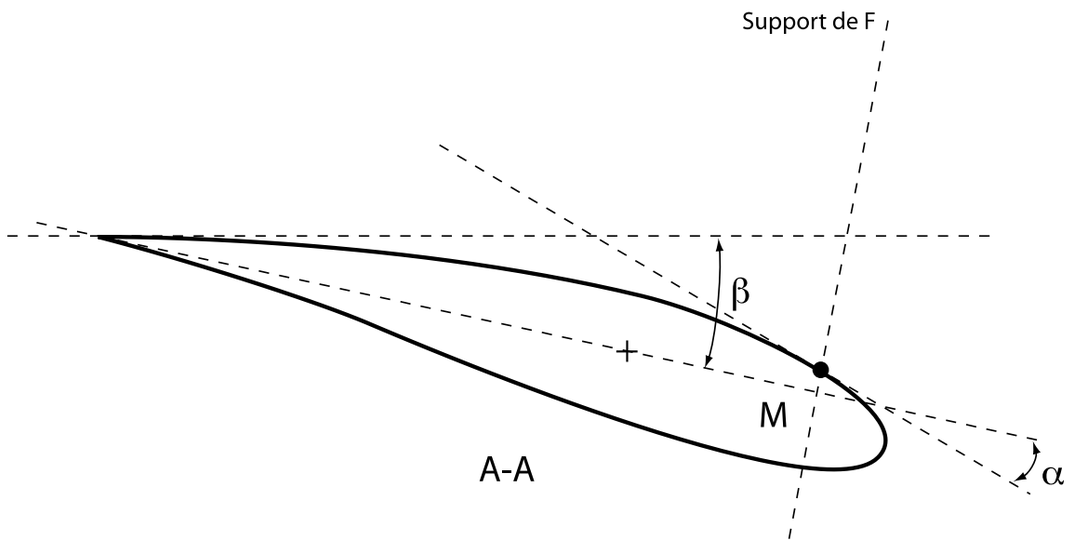
II.4 - *Calculer l'expression de la vitesse de la pale par rapport au sol* $\boldsymbol{V_{p/s}}$ *en un point centre de la section. Effectuer l'application numérique.*

II.5 - *Tracer les vecteurs* $\boldsymbol{V_{v/s}}$ *et* $\boldsymbol{V_{p/s}}$ *au point M avec 10 m/s = 2 cm. En déduire graphiquement la norme du vecteur vitesse* $\boldsymbol{V_{v/p}}$.



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.6 - *Représenter F ainsi que ses deux composantes Fp et Ft au point M avec F = 6 cm. En déduire graphiquement la direction et la norme (en cm) de la force Fc au point M qui engendre le couple autour de l'axe de l'éolienne ainsi que la force axiale Fa encaissée par la pale.*



II.7 – *Exprimer les projections Fc et Fa en fonction de Fp, Ft, α et β*

II.8 – *Si on suppose que, pour un fonctionnement optimal, l'angle d'incidence α vaut 5 degrés, donner l'expression de l'angle de vrille β en fonction de* $\boldsymbol{V_{v/s}}$*, ω et l. Conclure sur la forme de la pale.*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.9 - *Déterminer les expressions de la masse m et du moment quadratique I_{Gz} en fonction des données du problème.*

II.10 : *Déterminer les fonctions f_1, f_2 et f_3 telles que : $m = f_1 . f_2 . f_3$*

II.11 : *Parmi les matériaux retenus dans le diagramme, sélectionner le matériau le plus performant en expliquant la méthode utilisée.*

II.12 : *Proposer un procédé de fabrication adéquat pour le matériau choisi. Justifier votre réponse.*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.1 - Faire le graphe des liaisons relatif à la modélisation du **document ressource VI**. Donner son degré d'hyperstatisme h en précisant la démarche utilisée.

III.2 - Montrer par le PFS en quoi une telle disposition, en plus de transmettre un couple au rotor, sollicite la liaison pivot entre le rotor et la nacelle. Pour cela nous supposerons le fonctionnement de l'éolienne en régime permanent (hypothèse conservée par la suite).

III.3 - Que devient le degré d'hyperstatisme de cette évolution?

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.4 - *A quelle condition sur les efforts au niveau des contacts ponctuels peut-on avoir transmission d'un couple pur ?*

III.5 - *En cas d'un défaut d'alignement, peut-on toujours envisager la transmission d'un couple pur? Expliquer.*

III.6 - *Une solution plus complexe est alors envisagée sur le* ***document ressource VIII****. Quel est le nom de cette solution ?*

III.7 - *Donner le degré d'hyperstatisme de cette nouvelle modélisation*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.8 – Montrer, que sous ces hypothèses, seule la transmission d'un couple pur est réalisée entre le hub et le rotor.

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.9 *- Montrer que cette solution permet aussi de transmettre un couple pur au rotor.*

III.10 *- Sans tenir compte des communications hydrauliques entre les poussoirs, exprimer les variations de longueurs Δl_1+,Δl_2+ et Δl_3+ des poussoirs du circuit + en fonction de r, u, v et α (Rappel : les ressorts sont considérés infiniment rigides).*

III.11 *- En tenant compte maintenant de ces communications et de l'incompressibilité du fluide, que peut-on en conclure quant à α ? Que dire de la raideur en torsion sous ces hypothèses (fluide incompressible et ressorts infiniment rigides)*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.12 *- Quelle relation peut-on écrire entre les écrasements ⊿ui+ au niveau des différents poussoirs du circuit + ?*

III.13 - Pour le poussoir i, quelle est la relation entre ∆ui+ et ∆ui- ?

III.14 *- Que devient la raideur en torsion de cet accouplement ?*

III.15 *- Montrer que lorsqu'un couple est transmis entre le hub et le rotor, la pression moyenne dans les circuits + et – vaut* p_0.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

III.16 *- Connaissant la pression maximale p_{max} qu'un circuit hydraulique peut supporter, à quelle valeur régler la pression p_0 au repos ?*

III.17 *- Connaissant le couple maximal Cmax qui pourra être transmis au rotor, comment choisir les valeurs du produit s.r ?*

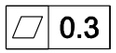
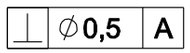
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

IV.1 *- Le hub est réalisé dans un matériau désigné par EN-GJS-400. Expliquer cette désignation.*

IV.2 *- La dureté Brinell du matériau vaut 180 HB. Expliquer le principe de l'essai de dureté Brinell.*

IV.3 *- Proposer un procédé permettant l'obtention de la pièce brute. Justifier votre réponse par des arguments technico économiques.*

Tournez la page S.V.P.

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
	Eléments non Idéaux extraits du « Skin Modèle »		**Eléments Idéaux**		
	Eléments Tolérancé(s) *	**Eléments de référence ***	**Référence(s) spécifiée(s) ***	**Zone de tolérance ***	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 					
 Le symbole Ⓜ a été volontairement enlevé et ne doit pas être considéré dans cette question.					

* Rayer la (les) mention(s) inutile(s)

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification	**Eléments non Idéaux** extraits du « Skin Modèle »		**Eléments Idéaux**		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	**Eléments Tolérancé(s) ***	**Eléments de référence ***	**Référence(s) spécifiée(s) ***	**Zone de tolérance ***	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 150 x M36 ⌖ 0.5 A B					

* Rayer la (les) mention(s) inutile(s)

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

IV.5 *- Expliquer l'intérêt d'utiliser l'exigence du maximum de matière pour la cotation se rapportant à la surface B.*

IV.6 *- À partir du* ***document ressource XI****, déterminer les outils les plus adaptés à l'opération considérée. Justifier votre réponse.*

IV.7 - Déterminer l'expression analytique du débit de copeau *Q* pour l'opération de perçage

IV.8 *- Déterminer les conditions de coupe Vc et f qui permettent de maximiser le débit de copeaux. En déduire la fréquence de broche N (tr/min) et la vitesse d'avance Vf (mm/min).*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

IV.9 *– Retrouver l'expression de la puissance maximale Pc (kW) développée par les actions mécaniques de l'outil sur la pièce et effectuer l'application numérique avec Kc=2000MPa*

IV.10 *- Calculer l'expression du temps d'usinage Tu en minutes et du nombre de plaquettes nécessaires à l'usinage des trois liaisons encastrements. Effectuer l'application numérique.*

IV.11 *- Proposer et dessiner à main levée une solution d'outillage permettant d'usiner les perçages ∅32x160 et ∅38x80 le plus rapidement possible.*

Tournez la page S.V.P.

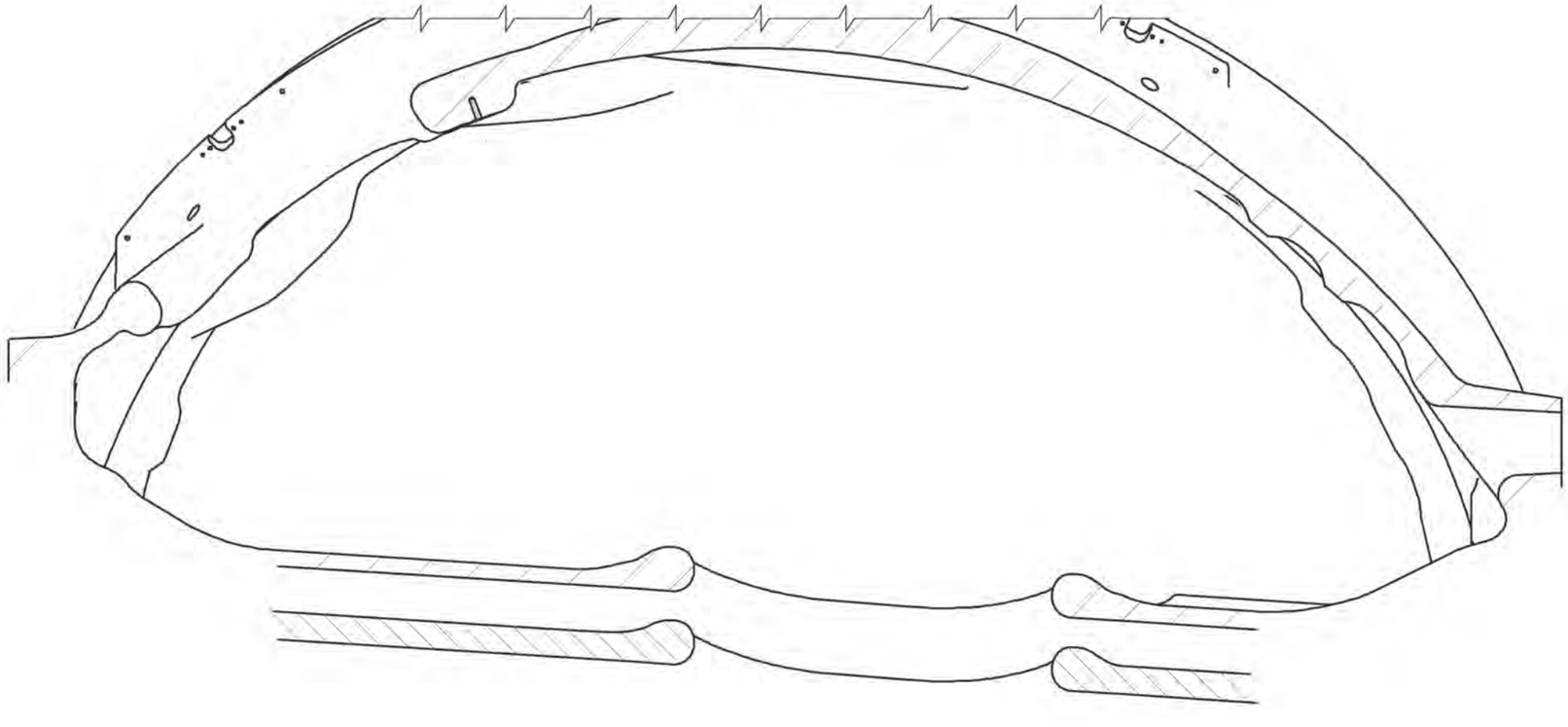
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

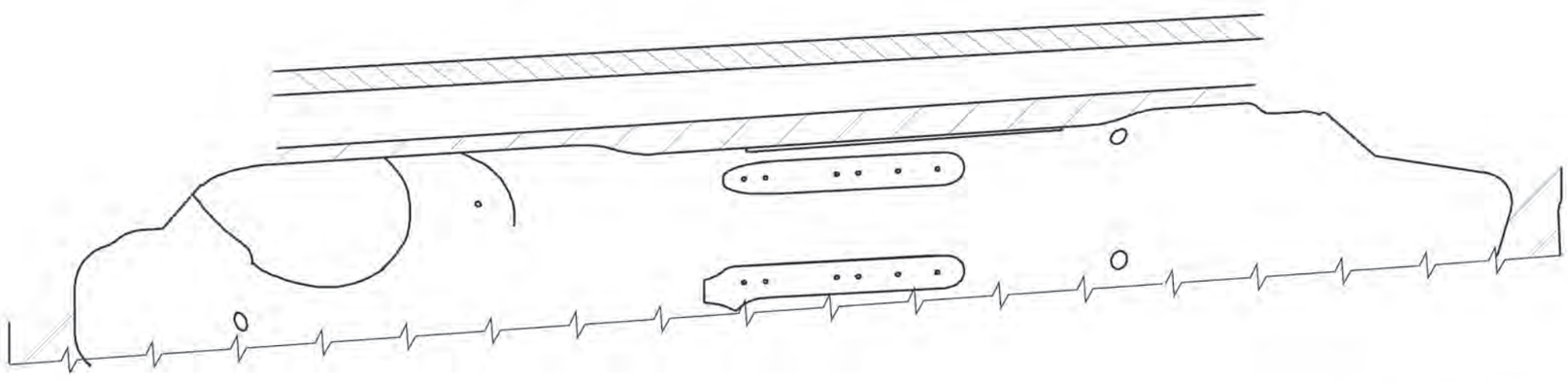
V.1 *- Proposer et justifier la disposition du montage des roulements*

V.3 *- Proposer et justifier la solution constructive de la liaison encastrement boulonnée entre un des trois bras de l'accouplement PURE TORQUE et le hub.*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE





D

CALQUE REPONSE	Echelle 1:15	Taille : A3

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Cinématique du solide : paramétrage, vitesse, taux de rotation et torseur cinématique
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Mobilité, hyperstatisme et petits déplacements

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt