Banque PT, France

Session 2018, filière PT

Sciences industrielles C

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- I. Étude générale du fonctionnement et de l'architecture de l'hélicoptère
- II. Analyse des mécanismes impliqués dans la commande de vol
- III. Analyse de la transmission de puissance
- IV. Étude d'une solution électrique
- V. Industrialisation du barillet de commande du rotor arrière

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/2018/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.

L'usage de calculatrices est interdit

Composition du sujet :

- 1 cahier de 15 pages de texte, numérotées de 1 à 15.
- 17 pages contenant 15 documents ressources, numérotés de I à XV.
- 1 dessin d'ensemble format A3, intitulé **« PLAN ROTOR ARRIERE DYNALI ».**
- 1 cahier réponses de 22 pages, **à rendre à la fin de l'épreuve.**
- 1 calque format A3, **à rendre à la fin de l'épreuve**.

Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur. Les tablettes à dessiner permettant de travailler sur des documents de dimension A3 sont autorisées.

TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE

Gestion du temps :

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

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.

Il est demandé aux candidats des dessins qui doivent traduire sans ambiguïté leurs intentions de conception. Pour cela, les candidats sont invités à faire preuve de rigueur dans leur tracé (en particulier, l'utilisation d'une règle ne pourra être que conseillée) et à donner toutes les précisions qu'ils jugeront adéquates afin de permettre au jury d'évaluer la pertinence des solutions proposées.

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.

Hélicoptères légers

Présentation

Les hélicoptères ont été depuis la mise au point des principes de vol modernes (1930-1950) utilisés pour des missions militaires et publiques (pompiers, hôpitaux…) ou industrielles (plateforme off-shore par exemple). Les particuliers ont eu progressivement l'occasion d'acheter des hélicoptères à partir de la personnalisation des gammes existantes, grâce aux réductions progressives de leur prix, reposant principalement sur l'optimisation et la réduction des dimensions.

De nos jours, de nouvelles entreprises offrent de nouvelles gammes adaptées à de nouveaux usages tels que l'agriculture, les loisirs… Ces nouvelles gammes s'appuient sur des systèmes « Ultralight » comme nous pouvons le voir sur la figure 1. Les sous-ensembles principaux de l'architecture d'un hélicoptère sont présentés sur le **document ressource I**. L'hélicoptère que nous allons étudier (Dynali / EasyFlyer) est présenté dans le **document ressource III.**



Le VS-300 de Sikorsky (1939)



Hélicoptère ultraléger (2000)

Figure 1

Problématique

Les éléments de solution sur lesquels on se propose de travailler (analyse, modélisation, validation) seront orientés vers une proposition d'appareil dérivée de l'architecture actuelle, adaptée pour des missions de surveillance de champs cultivés (notamment des vignes). Il existe de nos jours des multiples capteurs (vision, capteurs thermiques, capteurs pouvant identifier des composants chimiques spécifiques, capteurs d'hygrométrie, etc.) qui pourraient participer à l'estimation précise de l'état de santé des cultures. Des systèmes sensoriels intégrant ce type de capteurs permettraient une optimisation notable de l'ensemble de paramètres de performance du métier : rationaliser l'arrosage, éviter les épidémies et la prolifération des parasites, mieux cibler les traitements, diminuer notablement l'utilisation de substances chimiques, etc.

Des solutions basées sur l'utilisation des drones ont été imaginées. En revanche, le nombre de sous-systèmes et le poids de l'ensemble des équipements nécessaires, ainsi que la présence encore nécessaire de personnel formé à bord, capable de réorienter la mission en temps réel (suivant les observations faites), privilégient actuellement les solutions basées sur des aéronefs de mission très légers, à condition qu'ils soient spécialement conçus et équipés pour ces missions.

Le modèle d'hélicoptère présenté, bien qu'il soit conçu pour des faibles charges et des missions de courte durée, doit être adapté afin de mieux satisfaire les exigences de ces missions de surveillance, qui sont caractérisées par :

- une durée relativement courte nécessaire à l'inspection ; cela tolèrerait une autonomie plus faible que l'appareil existant,
- une simplicité des missions et configurations de vols,
- la possibilité d'être réalisées avec une seule personne à bord ; un pilote, ayant reçu une formation spécifique sur la technologie embarquée pour la surveillance, ou un expert ayant suivi une formation de pilote d'aéronef de mission,
- des exigences de plus en plus sévères concernant l'impact environnemental ; bien que ces exigences ne soient pas prévues par la législation, les responsables des cultures biologiques souhaiteraient que le survol d'un champ de cette nature ne se fasse pas par des engins polluants.

Ces éléments orientent les efforts d'adaptation des entreprises spécialisées qui veulent satisfaire ce marché naissant. L'étude proposée dans ce sujet s'inscrit dans une démarche de construction d'une nouvelle offre. Les objectifs de l'étude proposée et du travail demandé visent à analyser, modéliser et/ou valider des solutions envisageables.

Durant une mission l'hélicoptère passe par plusieurs phases de vol :

- Démarrage du rotor au sol
- Décollage vertical (vol ascendant)
- Déplacement horizontal
- Vol stationnaire
- Atterrissage (vol descendant)

Les mouvements durant le vol sont notés : montée/descente, roulis, tangage et lacet de l'hélicoptère.

La figure 2 donne les diagrammes partiels des exigences et de structure de l'hélicoptère EasyFlyer, support principal de ce sujet.

Tournez la page S.V.P.

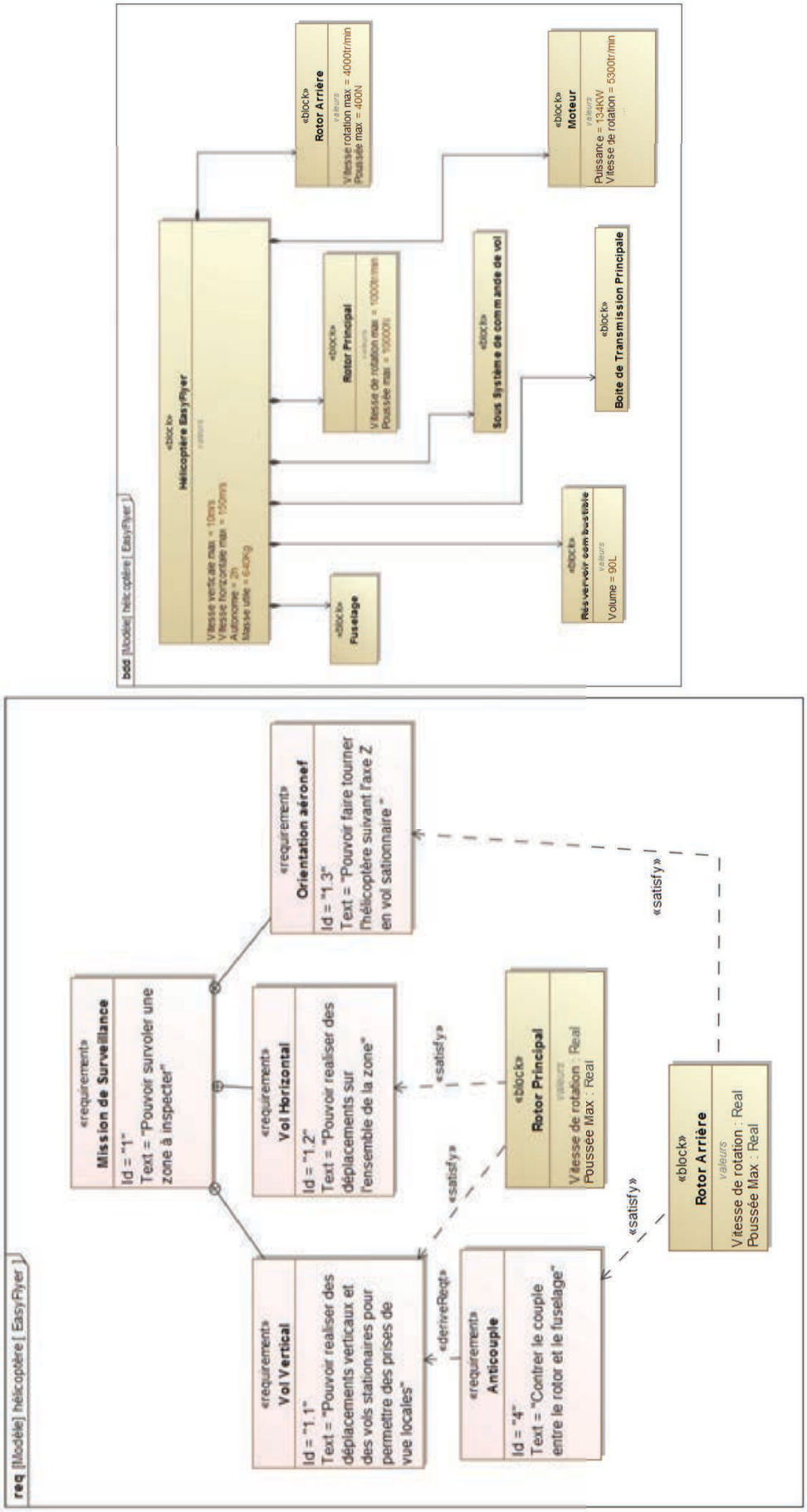


Figure 2 : Diagrammes SysML partiels de l'hélicoptère EasyFlyer (Dynali)

Objectifs proposés et structuration du travail demandé

Il est proposé au candidat de répondre, après une lecture attentive des parties introductives, à une série de questions organisées en 5 parties.

- **Partie I** : Analyse de plusieurs architectures existantes et des fonctions des aéronefs de mission, comparaison et compréhension des sous-systèmes technologiques qui assurent le fonctionnement d'un hélicoptère et de ses différentes phases de vols.
- **Partie II** : Analyse cinématique des mécanismes permettant au pilote d'actionner les éléments qui contrôlent le vol de l'aéronef en fonction de la mission de l'hélicoptère.
- **Partie III** : Analyse de la transmission de puissance : étudier et discuter les solutions technologiques choisies lors de la conception du système.
- **Partie IV** : Version hélicoptère léger *électrique* : cette partie étudiera la faisabilité de remplacer la motorisation thermique actuelle par une motorisation électrique, tout en respectant les exigences en autonomie et masse embarquée pour la mission imposée.
- **Partie IV** : Analyse critique de l'industrialisation des pièces impliquées dans la transmission de puissance du rotor arrière.

Tournez la page S.V.P.

I. Etude générale du fonctionnement et de l'architecture de l'hélicoptère

A. Analyse des fonctions d'un hélicoptère

Le **document ressource II** présente plusieurs architectures d'aéronefs développées par différentes sociétés *Airbus Helicopters*, *Bell/Agusta*, *Dynali*. Les deux premiers appareils sont en cours de développement et beaucoup plus onéreux que la version d'hélicoptère de Dynali. Ces différentes solutions ont été étudiées brièvement dans le but d'évaluer la pertinence du choix de l'architecture de l'hélicoptère Dynali au regard des exigences de la mission visée.

Question 1. Analyser les trois solutions technologiques proposées. A partir des diagrammes SysML donnés sur la feuille réponse, remplir le tableau en associant le nom des « blocks » de chacune des solutions technologiques aux exigences.

B. Analyse énergétique globale

Le **document ressource IV** donne les caractéristiques de vol pour une mission donnée d'inspection de vignes de l'hélicoptère Dynali. L'exigence d'autonomie de l'appareil est liée à l'aspect énergétique du fonctionnement de l'appareil, auquel on s'intéresse aussi dans le but de valider le dimensionnement des rotors et de la motorisation. Dans la phase de démarrage, l'appareil est au sol et le rotor doit atteindre une vitesse de rotation nominale de 530 tr/min (environ 55 rad/s). Le rotor (moyeu + pales) a un moment d'inertie par rapport à son axe de rotation d'environ 45 kg.m^2.

Question 2. En négligeant les frottements mécaniques et la trainée aérodynamique des pales (résistance de l'air), calculer (à 1kJ près) le travail que doit fournir le moteur au rotor pour atteindre cette vitesse.

Afin de décoller verticalement le rotor doit fournir une puissance qui dépend de la poussée (i.e. force) nécessaire dans l'air, de la surface balayée (disque balayé par les pales du rotor) et de la masse volumique de l'air (la théorie, les hypothèses et les équations sont données sur le **document ressource V**). On néglige dans cette section la puissance due à la force de trainée des pales.

Question 3. Donner l'expression analytique et réaliser l'application numérique de la puissance (puissance induite) que doit fournir le rotor principal pour une phase de vol stationnaire (hélicoptère avec 2 passagers et leurs bagages, à altitude constante et vitesse horizontale nulle). Vous prendrez la valeur numérique de $\mathbf{2.\rho.S}$ égale à 100.

Question 4. Calculer la puissance nécessaire à fournir au rotor dans la phase de montée à vitesse constante (document ressource IV). Calculer les couples nécessaires au rotor principal pour les phases de montée et de vol stationnaire.

Question 5. Justifier la fonction du rotor arrière. Compte tenu des différences de puissances dans chacune des phases de vol, quelle est l'exigence à imposer à ce sous-système ?

Question 6. Expliquer comment l'architecture de l'hélicoptère X3, donnée sur le **document ressource II**, remplace le rotor arrière.

Question 7. Pour l'hélicoptère Dynali, calculer l'effort normal (i.e. effort de poussée) nécessaire au rotor arrière dans les deux phases de vol : montée et stationnaire.

C. Analyse statique du rotor arrière

On se place dans la phase de vol stationnaire (entre les points F et G sur le **document ressource IV)**. On fait l'hypothèse que le rotor arrière tourne à une vitesse de 3800 tr/min (environ 400 rad/s).

Question 8. A partir du **document ressource V**, montrer qu'à vitesse de rotation constante, l'effort de poussée du rotor arrière (appelée force de portance dans le **document ressource V**) peut se mettre sous la forme d'une relation proportionnelle $Fz = K\ \theta$ (θ étant l'angle d'incidence des pales). Identifier K littéralement.

Question 9. Déterminer graphiquement (sur le document réponse) l'angle d'incidence des pales du rotor arrière pour obtenir la poussée nécessaire. Valider que pour cet angle, le coefficient C_X est bien constant (cf. **document ressource V)**.

Tournez la page S.V.P.

Question 10. Donner l'expression littérale du couple au rotor arrière. Calculer numériquement ce couple (on estime $\frac{1}{2}\,\boldsymbol{\rho}.\mathbf{C_X}.\mathbf{S_P}$ égal à 8.10^{-5} $\boldsymbol{N\,s^2\,m^{-2}}$ pour le rotor arrière).

Question 11. Calculer la puissance nécessaire au rotor arrière et la puissance nécessaire globale à fournir par le moteur thermique de l'hélicoptère. Conclure quant à la puissance du moteur de l'hélicoptère en phase de vol stationnaire, et commenter le résultat.

II. Analyse des mécanismes impliqués dans la commande de vol de l'hélicoptère

Pour une nouvelle version d'appareil destiné à des missions de surveillance, bien que les technologies ne soient pas encore matures à ce jour, on souhaite envisager sa conversion dans l'avenir en engin autonome, ce qui implique, entre autres, l'automatisation des commandes de vol, actuellement en version mécanique et manuelle. Pour cela, on doit étudier les sous-systèmes qui assurent les exigences principales (1.1, 1.2 et 1.3 sur la figure 2), afin de comprendre le fonctionnement des deux rotors et des mécanismes de commande respectifs.

A. Rotor principal

Le **document ressource VI** montre le schéma cinématique de la transmission de puissance entre l'arbre de sortie de la BTP, le rotor principal et le rotor arrière.

Le **document ressource VII** donnent un schéma cinématique partiel de la chaine de commande du rotor principal ainsi que des éléments explicatifs.

Pour assurer les différentes phases de vol, il est nécessaire d'incliner globalement la normale du disque balayé par les pales du rotor principal (voir **document ressources I**). Cela est réalisé en imposant une variation sinusoïdale de l'angle d'incidence de la pale sur un tour (angle minimum lorsque la pale passe par la position « devant », angle maximum lorsque la pale passe par la position « arrière »). Idem pour l'inclinaison à droite ou à gauche. En raison de la présence de l'effet gyroscopique et des considérations géométriques et cinématiques du fonctionnement du rotor, il existe un retard angulaire entre la commande de l'incidence des pales et son effet d'environ 90°.

Question 12. Compléter le schéma cinématique de la commande du rotor principal sur le document réponse : liaisons entre l'arbre rotor et les plateaux (mobile et fixe), liaison entre les pales et l'arbre rotor.

Question 13. Quels sont les composants (organes de commande) sur lesquels le pilote doit agir et les actions à réaliser pour les fonctions : montée/descente, roulis (virage), tangage (avance) ?

Tournez la page S.V.P.

Question 14. Calculer l'hyperstatisme du mécanisme assurant la transmission des commandes de vol (tringlerie de commande), représenté sur le **document ressource VII**. Ne pas inclure dans ce mécanisme les trois biellettes qui transmettent les mouvements au plateau fixe.

Question 15. Quelle est la fonction principale assurée par les deux plateaux (*Plateau Fixe* et *Plateau Tournant* = ensemble plateau cyclique) ?

B. Rotor arrière

Question 16. A partir de la mise en plan et de la vue 3D données sur les **documents ressource VIII et IX**, réaliser le schéma cinématique de la liaison entre le fuselage, le rotor arrière et les pales en incluant les éléments de commande (*Barillet*).

Question 17. Expliquer quels sont les composants (organes de commande) qui participent à la chaine de commande pour le réglage de l'effort générant le couple anti-rotor.

On se place en vol stationnaire. Le **document ressource X** présente la mise en plan du *Barillet*.

Question 18. Ecrire l'expression littérale qui lie l'angle de rotation du barillet (α) et l'angle d'incidence des pales du rotor arrière (θ). Rechercher graphiquement (sur le **document réponse**) la valeur $\Delta\alpha$ pour avoir une poussée sur le rotor arrière qui équilibre l'hélicoptère.

III. Analyse de la transmission de puissance

Nous nous proposons d'étudier dans cette partie les mécanismes qui distribuent la puissance du moteur vers les pales du rotor principal et du rotor arrière, assurant ainsi les exigences et caractéristiques souhaitées (autonomie imposée pour la masse totale maximale de l'appareil).

A. Chaine cinématique et transmission de puissance

A partir du **document ressource VI** déjà utilisé pour la partie commande, nous allons maintenant étudier la chaine cinématique et la transmission de puissance au sein de l'hélicoptère. Nous réalisons cette étude pour la phase de vol stationnaire.

Question 19. Calculer le rapport de transmission entre la vitesse du moteur et la vitesse du rotor principal.

Question 20. Calculer le rapport de transmission entre la vitesse du moteur et la vitesse du rotor arrière. Calculer les vitesses de rotation du rotor principal et du rotor arrière.

B. Analyse des solutions technologiques pour la conception du rotor arrière

Le **document ressource VIII**, ainsi que le plan A3 fourni, donnent la mise en plan du rotor arrière.

Question 21. Décrire et commenter la solution technologique pour la liaison entre les pièces 9 et 20.

Question 22. La solution technologique pour la transmission de puissance entre 2 et 9 et leurs guidages en rotation, présente des erreurs de conception et des manques. Identifier ces erreurs et éléments manquants.

Question 23. Sur le calque réponse, proposer de nouvelles solutions qui corrigent les erreurs identifiées à la question précédente.

Question 24. Donner et justifier le type de roulements utilisés pour le guidage en rotation de l'arbre d'entrée 2.

Tournez la page S.V.P.

IV. Etude d'une solution « électrique »

Dans cette partie on s'intéressera à une version monoplace électrique de l'hélicoptère, imaginée afin de satisfaire au mieux les exigences des missions visées (exigences environnementales, coût de la mission) tout en respectant la contrainte d'autonomie de vol.

L'architecture proposée remplace simplement le moteur thermique et le réservoir de carburant par un moteur électrique, son électronique de puissance (variateur de vitesse) et une batterie Li-Ion de grande capacité (voir **document ressource XI**).

Nous faisons des hypothèses sur les gains de masse possibles (passage à des matériaux composites, optimisation de la conception) et sur la charge maximale :

- Masse de l'appareil hors charge et hors moteur et batterie : M = 150kg
- Charge maxi : 100kg (le pilote + bagages)

Nous devons dimensionner / choisir le système batterie/moteur. Pour ce faire, on utilise comme critère d'optimisation l'autonomie en vol stationnaire de l'hélicoptère, à charge maximale, en considérant seulement la puissance induite développée par le rotor principal.

Les moteurs proposés sont des moteurs synchrones à aimants permanents, les caractéristiques étant données dans le **document ressource XIII**. La tension nominale des moteurs est de 600V. Nous considérons dans un premier temps un ensemble de batteries d'environ 200kg. La technologie de batterie choisie est décrite dans le **document ressource XII**. La configuration interne de la batterie sera modifiée par le fournisseur, afin de délivrer la tension nécessaire au fonctionnement du moteur (600V), sans modification notable de la densité d'énergie. Nous considérons une approximation de la masse du moteur électrique et de son variateur : 80kg.

A. Choix de moteurs et calcul d'un critère d'autonomie de l'appareil

Le rotor de cette nouvelle version d'appareil a été conçu pour assurer une vitesse induite en vol stationnaire de **8m/s** pour une charge maximale (voir document ressource V).

Question 25. La conception d'une nouvelle transmission de puissance exige une vitesse du moteur électrique de 1800 tr/min. Sachant qu'il faut avoir un facteur de sécurité d'environ 2 pour le régime continu (P moteur / P induite), choisir un moteur adéquat (**documents ressource XIII**).

Question 26. Nous considérons un rendement de 0,8 du moteur électrique et son électronique de puissance. Quel est le courant maximum que les batteries doivent pouvoir assurer, à puissance maximale développée par le moteur choisi à la vitesse nominale ?

Question 27. Pour les caractéristiques données, calculer l'autonomie de l'appareil en tenant compte seulement de la puissance induite du rotor principal en vol stationnaire.

B. Optimisation de l'autonomie de l'appareil électrique, motorisation et capteurs

Nous souhaitons maintenant déterminer les limites physiques en ce qui concerne l'autonomie d'un tel appareil. Pour un appareil à charge maximale, notons Mt la masse totale de l'appareil, Ms la masse totale de la structure de l'hélicoptère chargé (hors batterie) et mb, la masse de la batterie.

Question 28. L'expression de l'autonomie de l'appareil en vol stationnaire, en considérant seulement la puissance induite du rotor principal, s'écrit :

$$\mathrm{A}\,(s) = \; c_1 \; \frac{mb}{(c_2 + mb)^{3/2}}$$

Donner l'expression des constantes c_1 et c_2.

Question 29. Déterminer l'expression littérale de la masse optimale de la batterie (masse qui fournit l'autonomie maximale en vol stationnaire, considérant uniquement la puissance induite du rotor principal). Commenter le résultat.

Question 30. Le moteur choisi est du type synchrone à aimants permanents, qui peut s'apparenter à un moteur à courant continu d'un point de vue du fonctionnement externe. Préciser et décrire (schémas, relations, explications) le fonctionnement d'un hacheur adapté.

Question 31. Pour connaitre à tout instant la vitesse du moteur, on peut utiliser un codeur incrémental. Quel est le nombre et le type d'entrées nécessaires pour un circuit électronique de traitement de ce type de capteur ? Décrire le fonctionnement de ce type de capteur.

Tournez la page S.V.P.

V. Industrialisation du *Barillet* de commande du rotor arrière

A. Analyse des spécifications

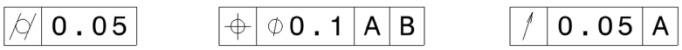
Nous reprenons ici la pièce *Barillet* qui fait partie de la cinématique de commande étudiée dans la partie III (voir **documents ressource IX et X**).

Question 32. Décrire les fonctions et les sollicitations principales de cette pièce.

Question 33. Sur le document réponse, identifier les surfaces fonctionnelles du *Barillet* qui participent à la commande de l'inclinaison des pales du rotor arrière.

Question 34. Justifier et expliquer la spécification $\varnothing 42\ ^{0}_{-0.025}$ (E).

Question 35. Renseigner les grilles GPS pour les spéciations suivantes :



B. Analyse du matériau

Lors de la commande du système, la pression de contact entre un *goujon d'actionnement* et le *Barillet* est de 20 N/mm^2. Le **document ressource XIV** donne les pressions admissibles de certains matériaux.

Question 36. A la lecture de la mise en plan (**document ressource X**), indiquer le type de matériau du *Barillet*. Conclure sur la pertinence du choix du matériau.

C. Analyse des procédés de fabrication

Les ressources dans l'atelier de production sont :

- Un tour à commande numérique 3 axes avec la capacité de monter des outils tournants. La documentation est donnée sur le **document ressource XV**.

Nous considérons que :

- Le matériau actuel du *Barillet* est remplacé par un alliage de type Al Cu4 Mg1 (alliage d'aluminium avec 4% de Cuivre et 1% de Magnésium).
- Le brut du *Barillet* est un lopin cylindrique de diamètre 110mm débité à une longueur de 50mm obtenu par laminage.

Question 37. Afin d'usiner toutes les surfaces du *Barillet*, donner, en vous appuyant sur des schémas si nécessaires, les différentes phases de la gamme générale de fabrication avec :

- la mise en position de la pièce pour chacune des phases,
- les surfaces usinées pour chacune des phases en mentionnant les mouvements cinématiques du tour sollicités pour chacune des surfaces.

Question 38. Suite à l'usinage de la surface A, on procède à son contrôle grâce à un palpeur à contact qui fournit un nuage de points de la surface. Donner les étapes de calcul à réaliser pour le contrôle de la spécification de cylindricité ⌭ 0,01 à partir du nuage de points.

D. Analyse technico-économique du procédé d'obtention

Nous souhaitons maintenant analyser d'un point de vue technico-économique l'hypothèse de réaliser le *Barillet* avec une gamme alternative : obtention du brut en fonderie par gravité en coquille (moule permanent) suivi de l'usinage des surfaces fonctionnelles.

Question 39. Tracer, sur le document réponse, ce que peut être la géométrie du brut de fonderie pour l'obtention de cette pièce afin de minimiser le volume de matière à usiner. Indiquer les éléments et modifications de géométrie notable, ainsi que la raison de leur présence.

Question 40. Représenter graphiquement et qualitativement sur le document réponse, avec deux couleurs différentes, l'évolution du prix de fabrication d'une pièce en fonction du nombre de pièces fabriquées (i.e. de la série fabriquée). Argumenter les courbes en analysant les coûts d'amortissement des équipements, les coûts des ressources humaines pour chacune des alternatives : laminage + usinage et fonderie + usinage.

FIN DE L'ENONCE

Épreuve de Sciences Industrielles C

DOCUMENTS RESSOURCES

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.

DOCUMENT RESSOURCE I

Eléments d'architecture des hélicoptères

DOCUMENT RESSOURCE II

Différentes configurations d'hélicoptères



Airbus Helicopters : X3
(solution hybride : rotors horizontaux/verticaux)



Bell/Agusta : BA609
(solution *TiltRotor*)

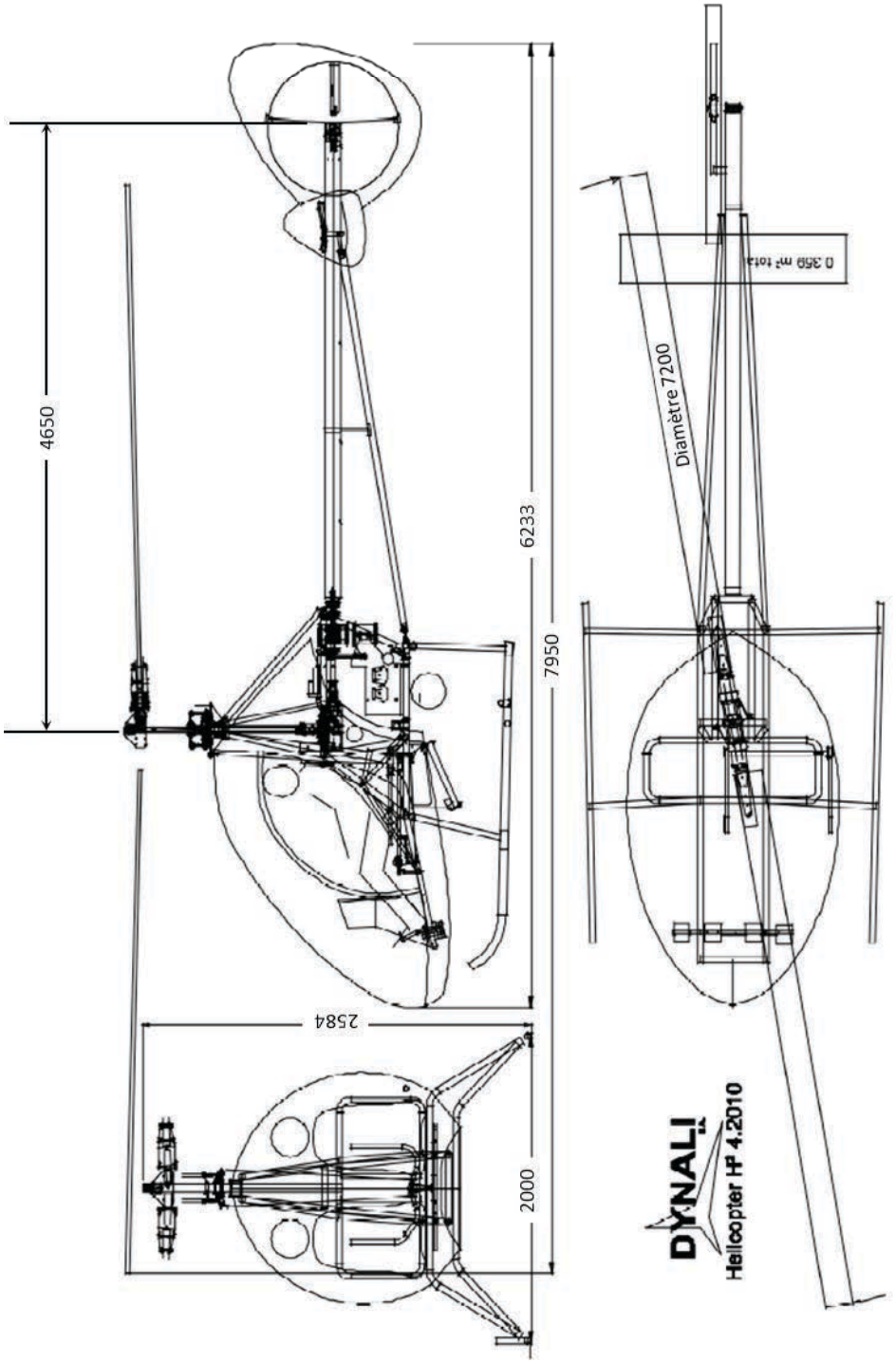


Dynali : EasyFlyer
(rotor vertical + rotor arrière)

Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT RESSOURCE III

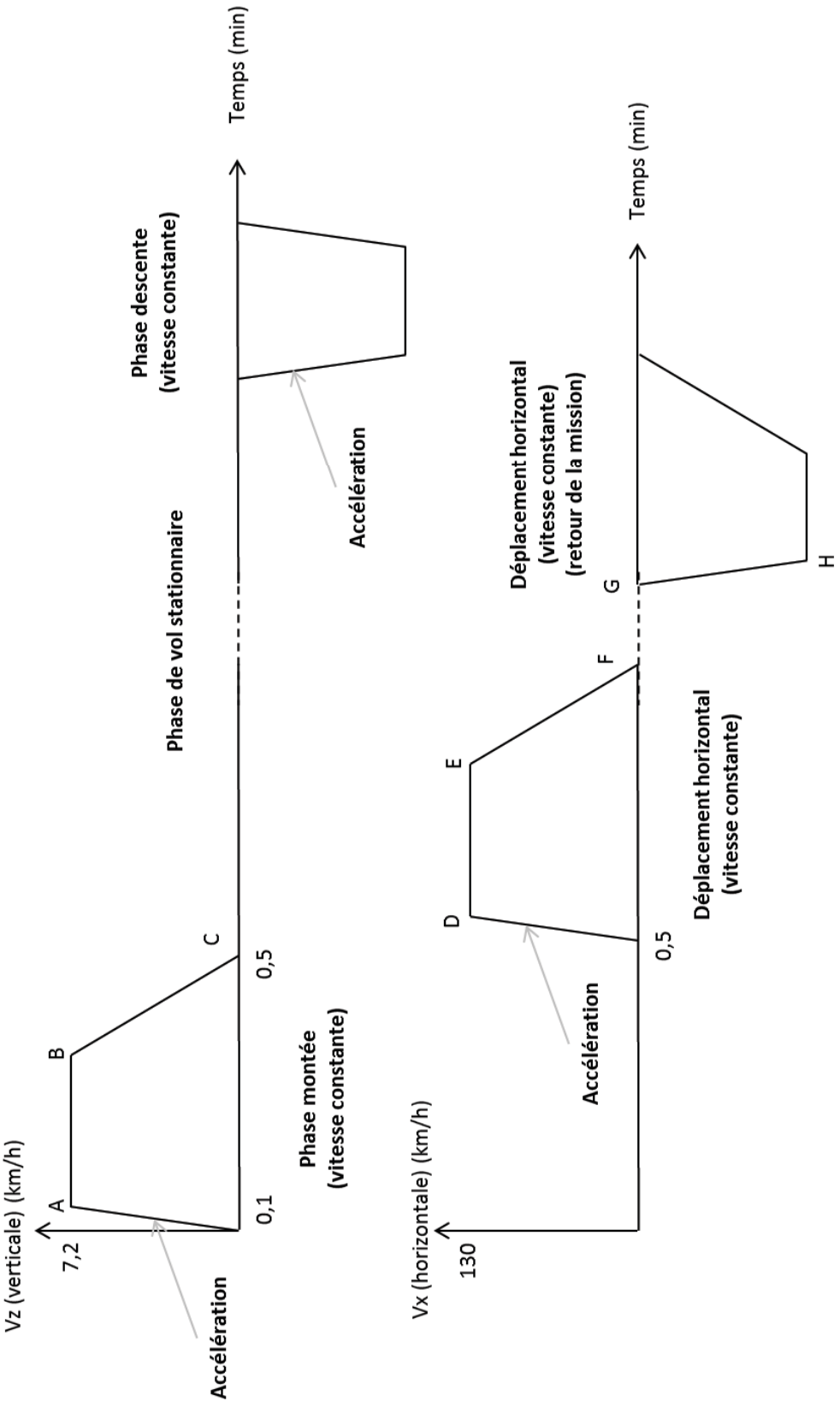
Structure, dimensions (en mm) de l'hélicoptère léger DYNALI



Masse totale maximum : 640 (2 passagers à 160kg maximum, 25kg de bagages) Masse nominale à vide (réservoir plein) : 455kg Diamètre disque balayée par les pâles : 7,2m Densité de l'air ρ : 1,225 kg/m3 ($2.\rho.S \cong 100$) Nombre de pales rotor principal : 2 Nombre de pales du rotor arrière : 8 Rayon pales rotor arrière : 40cm	Moteur Subaru DS EJ25 : - 2500 cm^3, 134kW - Masse = 120kg - Consommation moyenne : 27L/h - Vitesse à puissance maximum : 5300 tr/min environ Réservoir d'essence : 90L (env. 63kg)

DOCUMENT RESSOURCE IV

Profil de vol pour une mission d'inspection de vignes



Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT RESSOURCE V

Modélisation macroscopique du fonctionnement d'un rotor d'hélicoptère

Théorie de Rankine-Froude

Cette théorie modélise le fonctionnement macroscopique des rotors pour prédire leur poussée (force axiale développée) et la puissance nécessaire à leur rotation. La théorie est basée sur la conservation de la quantité de mouvement dans la veine de fluide mis en mouvement par le rotor. Les relations utilisent les grandeurs suivantes :

- la surface S du disque balayé par les pales du rotor ;
- la poussée F du rotor ;
- la vitesse (moyenne) v_i de l'air au travers du rotor, dite vitesse induite.

En vol stationnaire par rapport à la masse d'air, elle s'exprime comme suit :

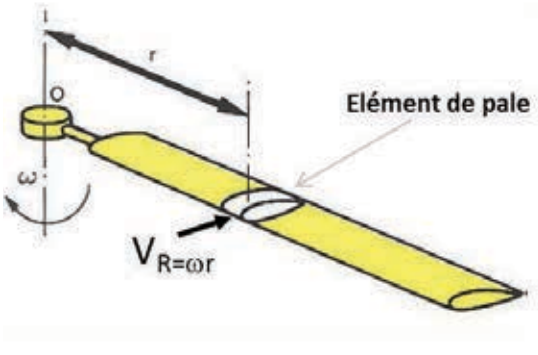
- $\mathbf{F = 2\,\rho\,S\,v_i^2}$ où ρ est la masse volumique de l'air.

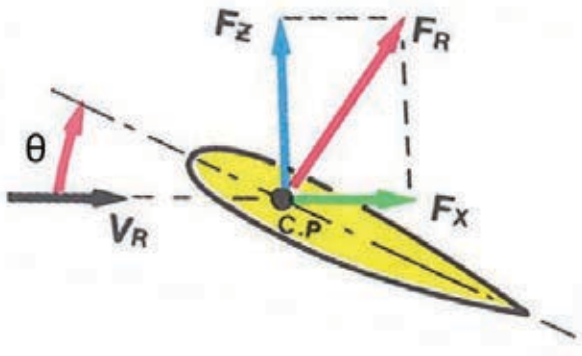
La puissance nécessaire correspondante (dite puissance induite) : $\mathbf{P = F\,v_i}$

Cette « puissance induite » est la puissance requise pour communiquer de l'énergie cinétique au flux d'air traversant le rotor. Le flux d'air exerce en retour une force de réaction sur le disque rotor pour soulever l'appareil.

Forces de portance (F_z) et forces de trainée (F_X)

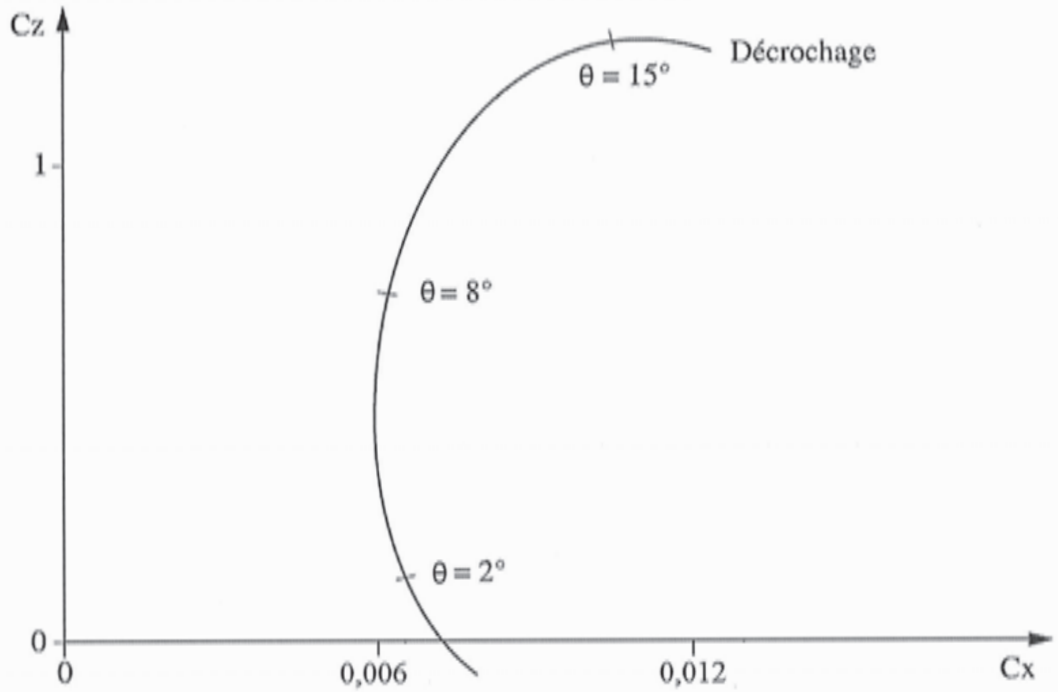
Pour un angle d'incidence donné θ (angle entre la vitesse relative air $V_R \neq Vi$ et l'élément de pale), l'élément de pale est soumis à une force aérodynamique F_R que l'on peut décomposer en une force de portance F_Z perpendiculaire à V_R et une force de traînée F_X parallèle à V_R telles que : $\mathbf{F_x = \frac{1}{2}\rho\, c_X\, S_P\, V_R^2}$ et $\mathbf{F_Z = \frac{1}{2}\rho\, c_Z\, S_P\, V_R^2}$





- ρ représente la masse volumique de l'air (1,225kg/ m3) ;
- c_X et c_Z sont les coefficients de trainée et respectivement de portance aérodynamique du profil de pale étudié ;
- S_P est la surface de l'élément étudié « face au vent » : longueur de corde multipliée par la largeur de l'élément de profil) ;
- V_R est la vitesse (en valeur absolue) de l'air par rapport au profil de pale étudié.

La figure ci-dessous montre que pour des angles d'incidence de faibles valeurs (ce qui en pratique couvre une utilisation « normale » du système) le coefficient de trainée c_X est indépendant de l'angle d'incidence de la pale. Le coefficient c_Z est proportionnel à cet angle d'incidence : $c_Z = \lambda.\theta$[rad]. Pour notre hélicoptère on considère un coefficient de trainée c_X de 0.0062 et le facteur de proportionnalité $\lambda \approx 6$.

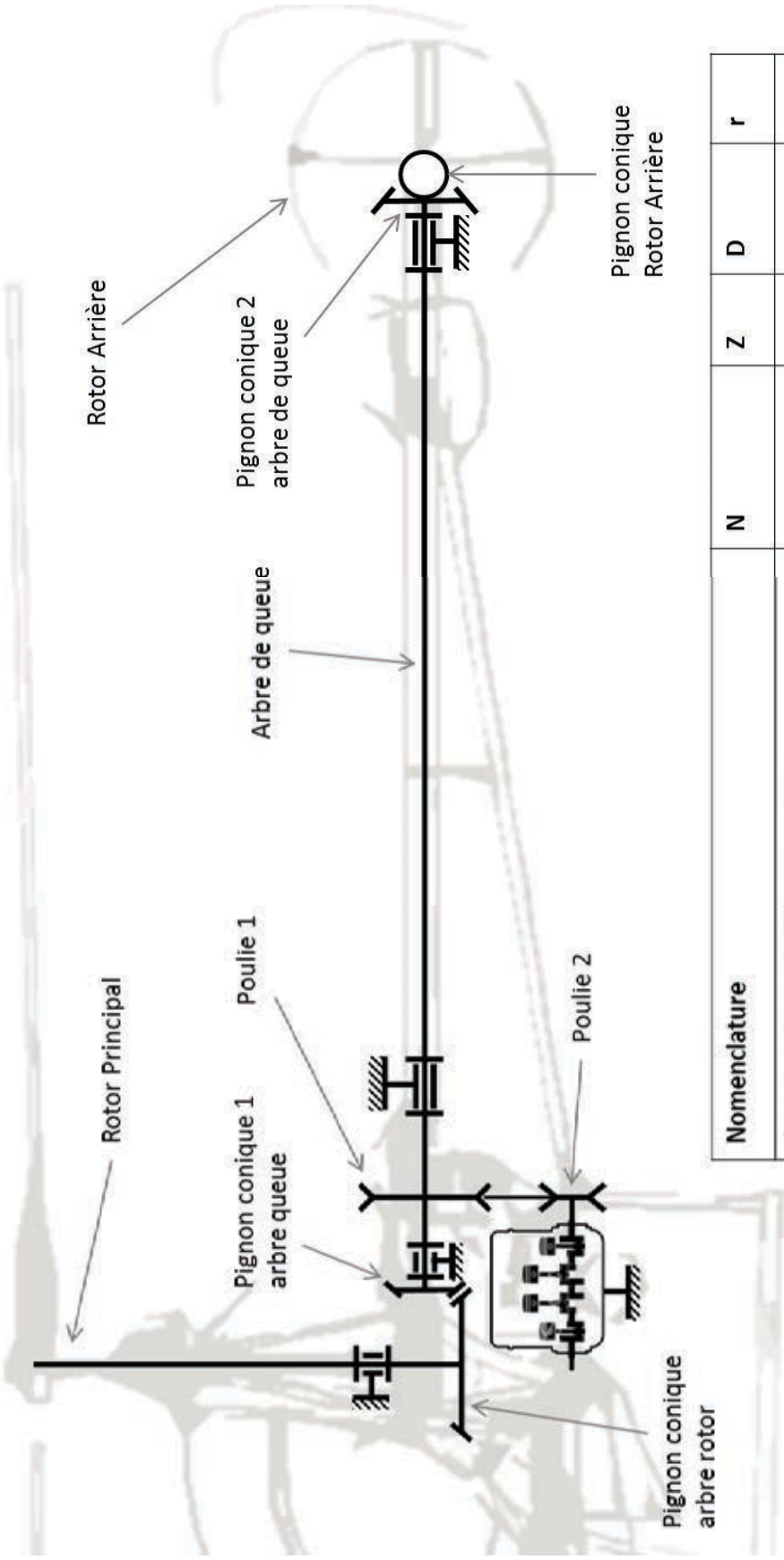


Courbe de variation ce CZ et CX en fonction de l'angle d'incidence

Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT RESSOURCE VI

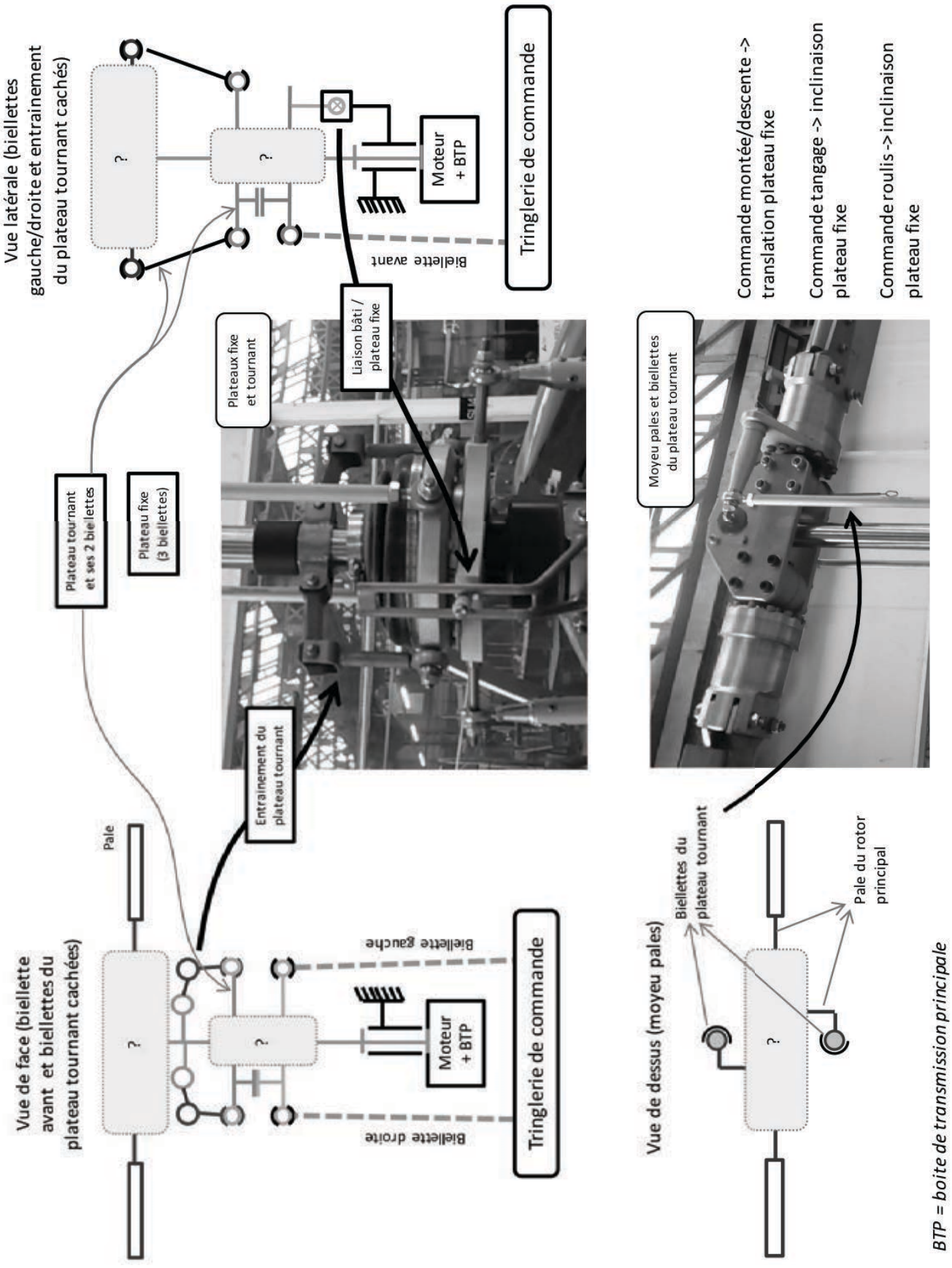
Schéma cinématique de la transmission de puissance



Nomenclature	N	Z	D	r
Pignon conique (45°) rotor arrière	3800 tr/min	20		
Pignon conique 2 (45°) arbre de queue		58		
Poulie 1			400mm	
Poulie 2			100mm	
Rapport Pignon conique arbre rotor / Pignon conique 1 arbre queue				2,43

DOCUMENT RESSOURCE VII

Schéma cinématique partiel et éléments explicatifs de la commande du rotor principal



Tournez la page S.V.P.

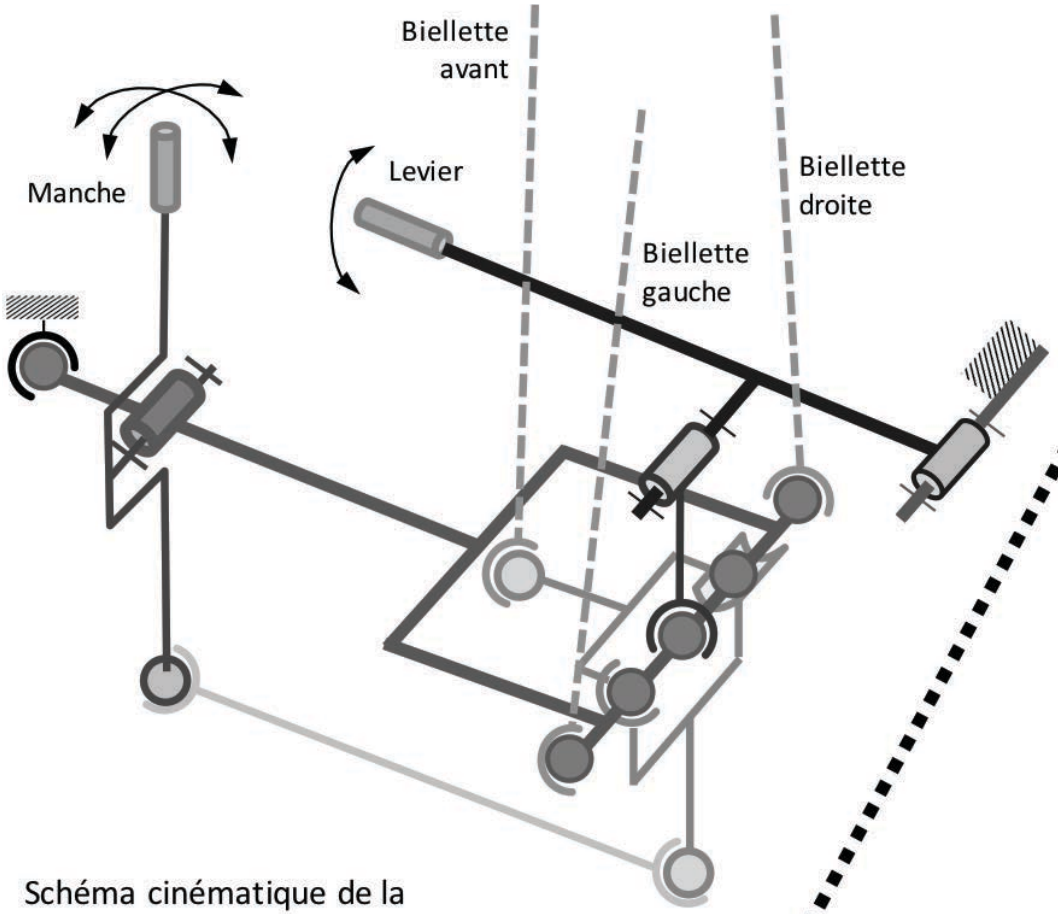
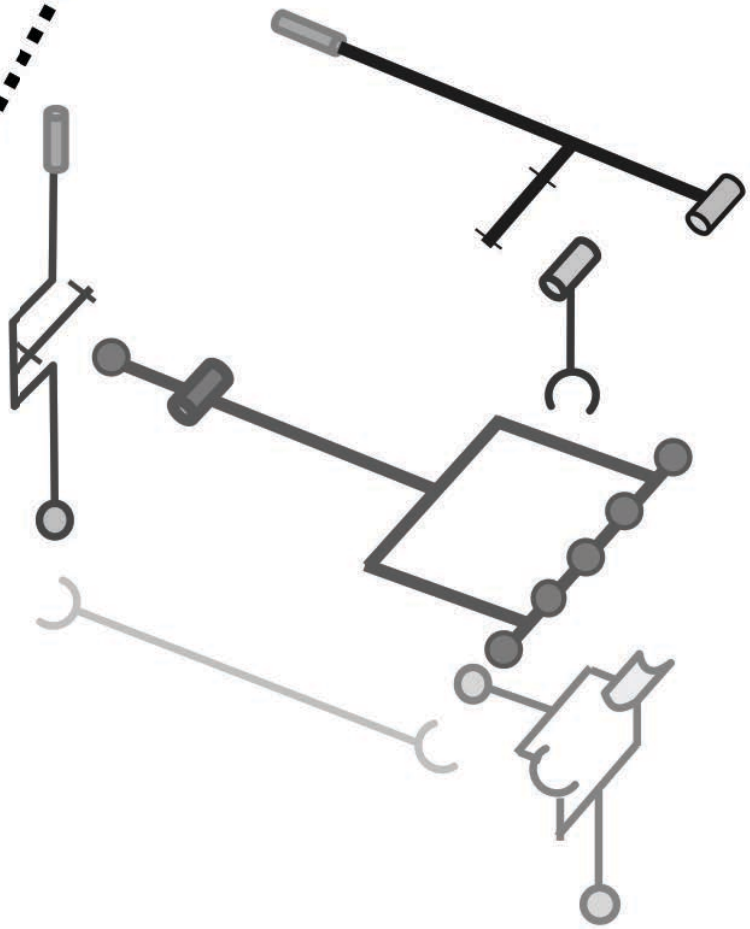


Schéma cinématique de la tringlerie de commande du rotor principal

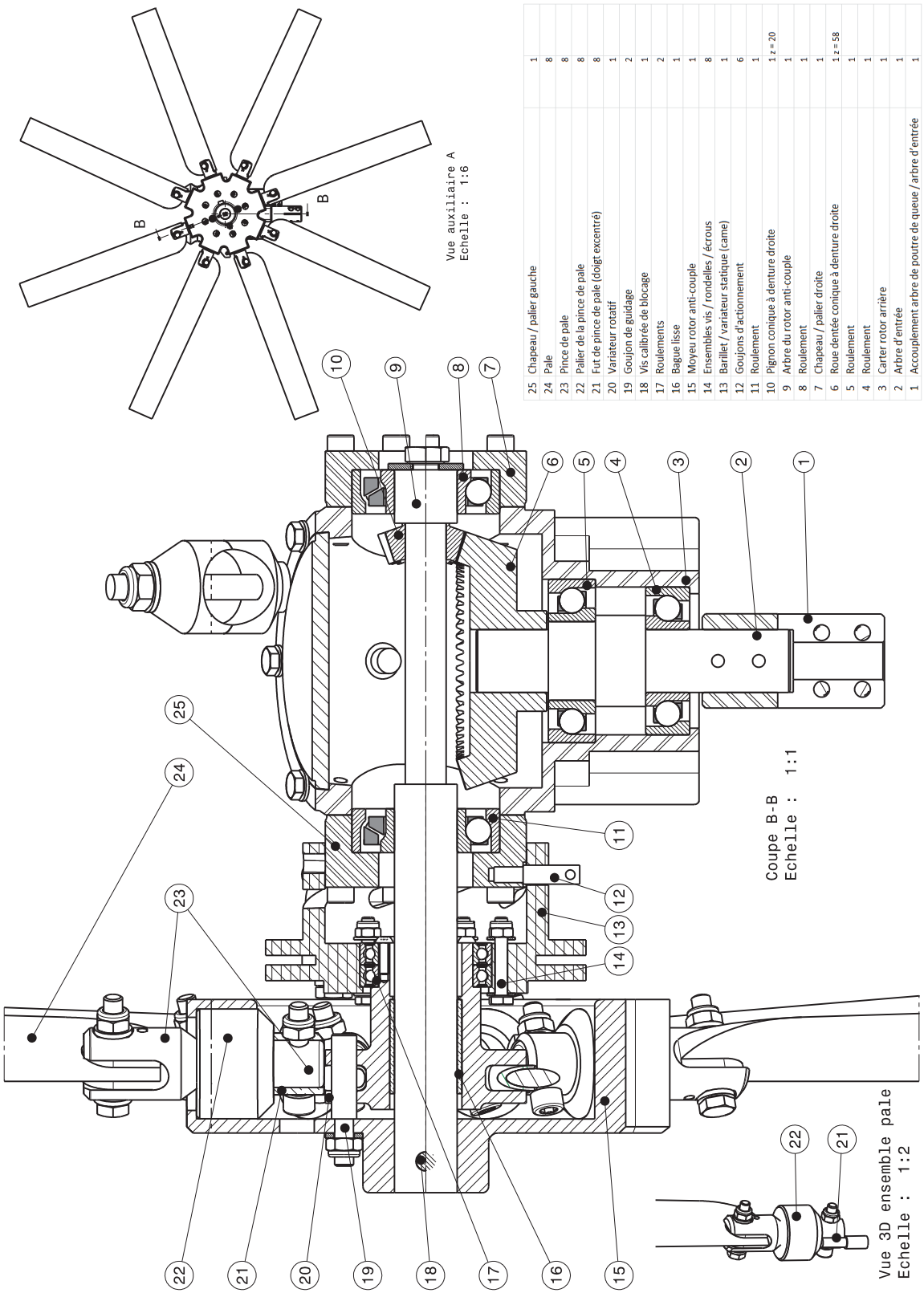
Classes d'équivalence cinématique qui composent le mécanisme de la tringlerie de commande (bâti et biellettes non représentés)



DOCUMENT RESSOURCE VIII

Mise en plan de la transmission de puissance entre l'arbre de queue, le rotor arrière et ses pales

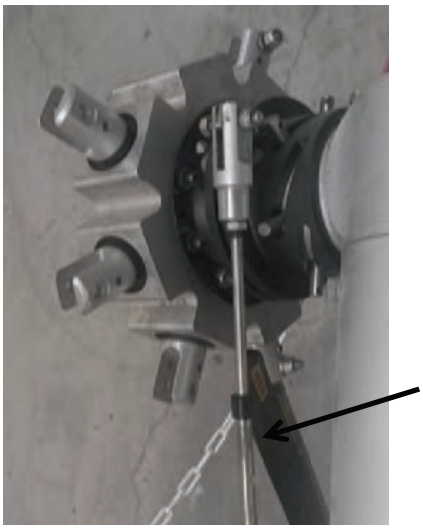
(Voir plan A3)



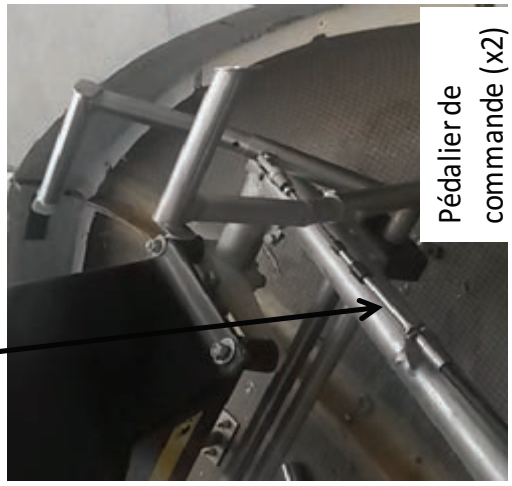
Tournez la page S.V.P.

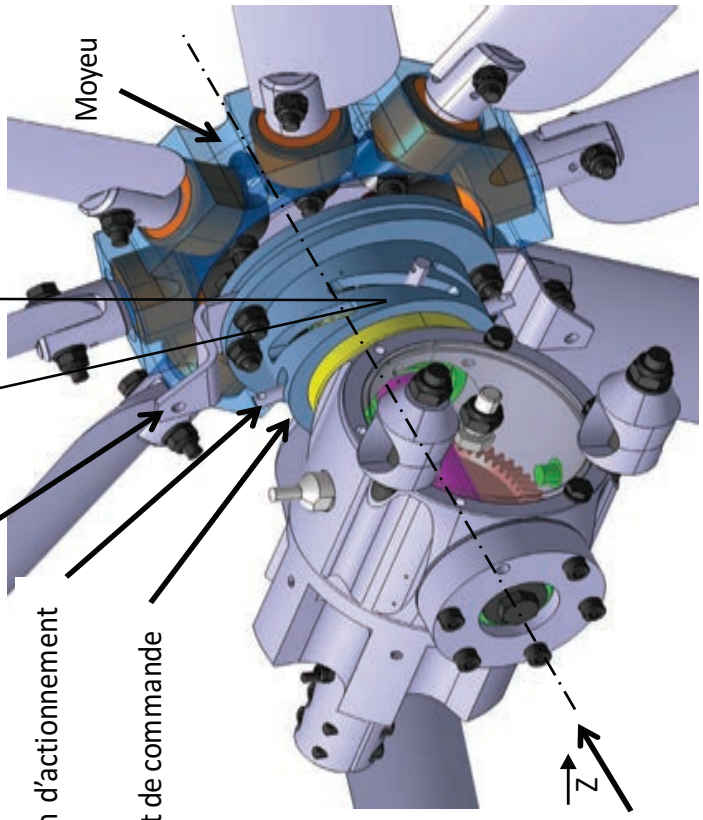
DOCUMENT RESSOURCE IX

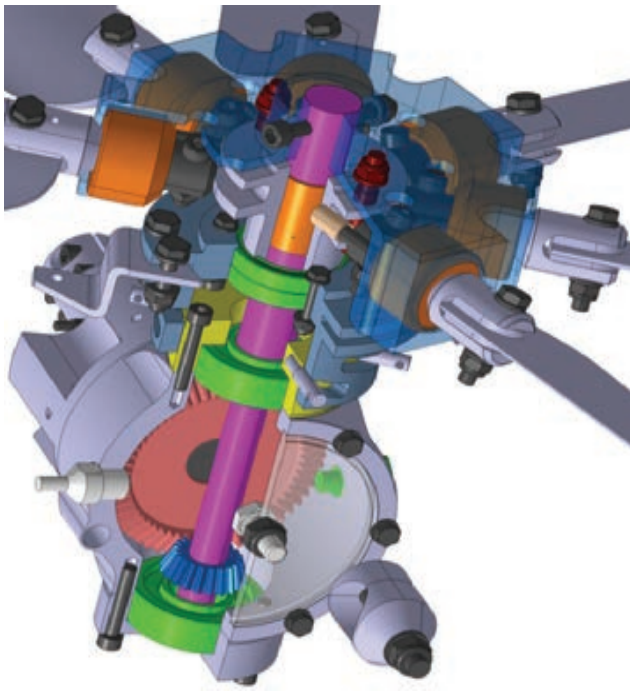
Représentation de la transmission de puissance entre l'arbre de transmission arrière (arbre de queue), le rotor arrière et ses pales ainsi que les éléments de commande du rotor arrière.



Liaison commande par câbles souples(x2)

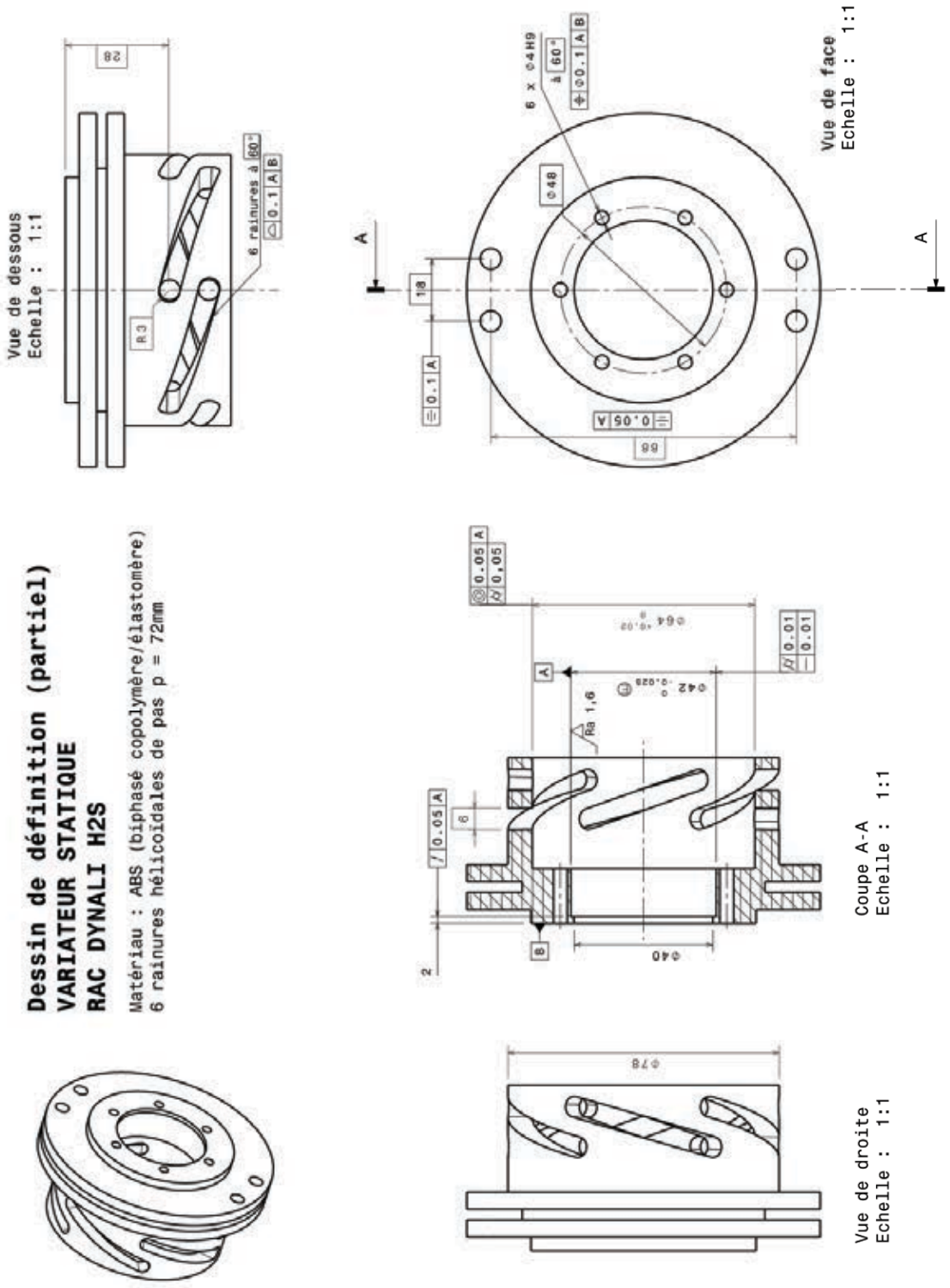






DOCUMENT RESSOURCE X

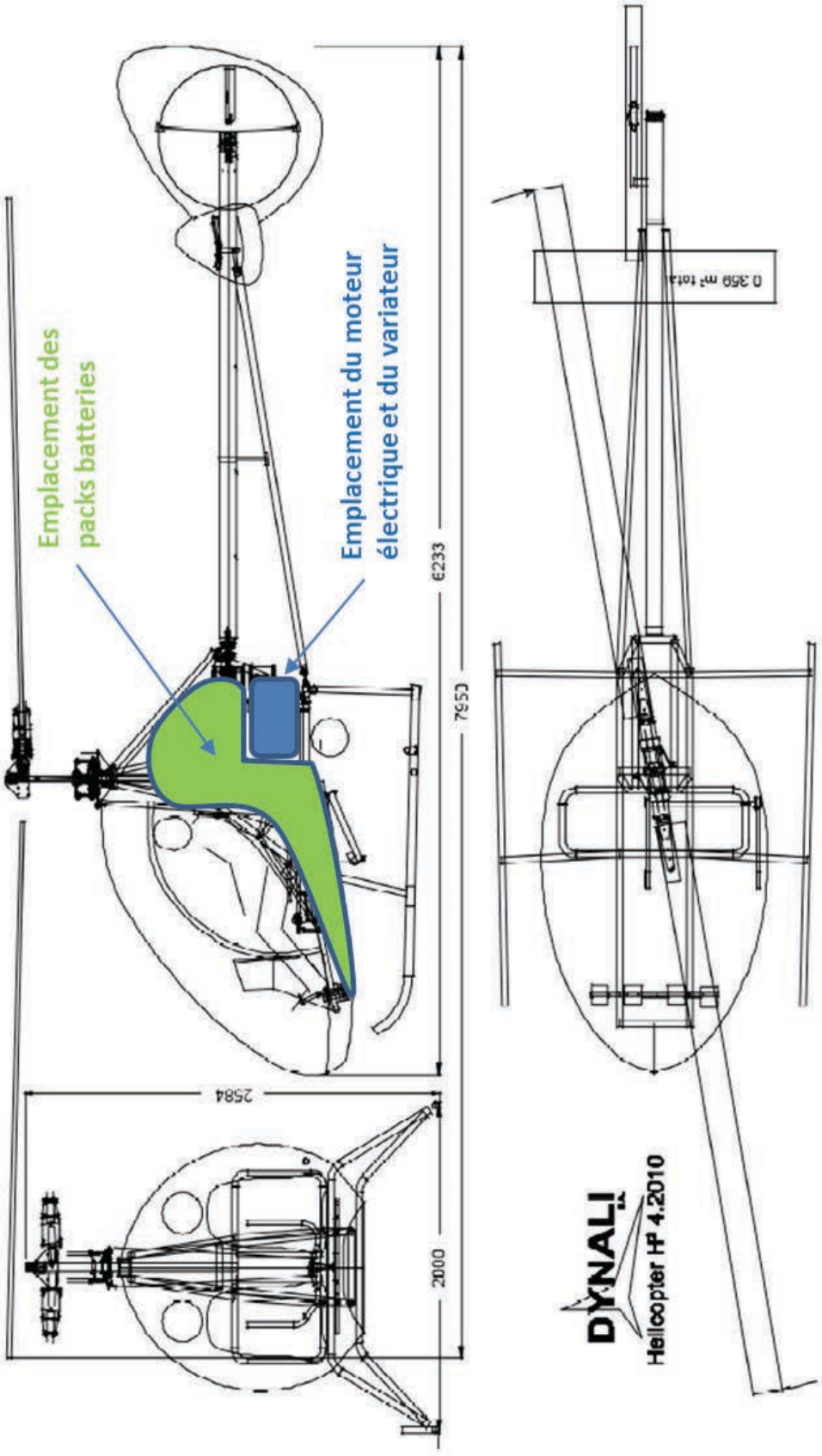
Mise en plan du barillet de commande de l'angle d'incidence des pales du rotor arrière.



Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT RESSOURCE XI

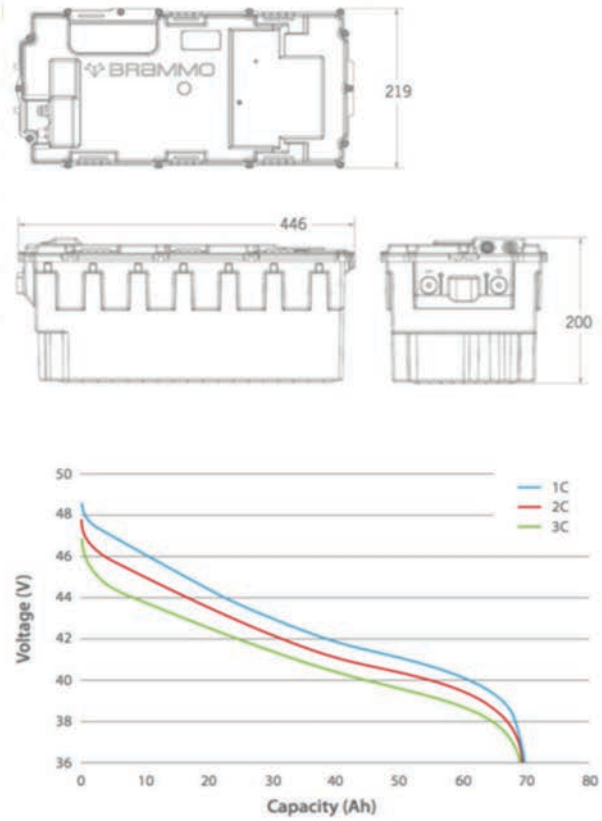
Emplacement batterie / moteur électrique – version électrique

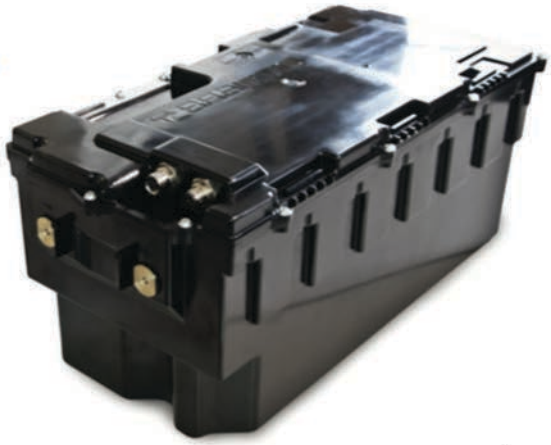


DOCUMENT RESSOURCE XII

Exemple de batterie Li-Ion de la technologie choisie

BPM 44/70 Li-Ion Battery Module





Performances	
Configuration	10Ah, 12S7P
Cathode	Li (NiCoMn)O2
Anode	Carbonne
Energie totale	31 kWh
Poids	21,4 kg
Puissance continue	4,5 kW
Energie spécifique	141 Wh/kg

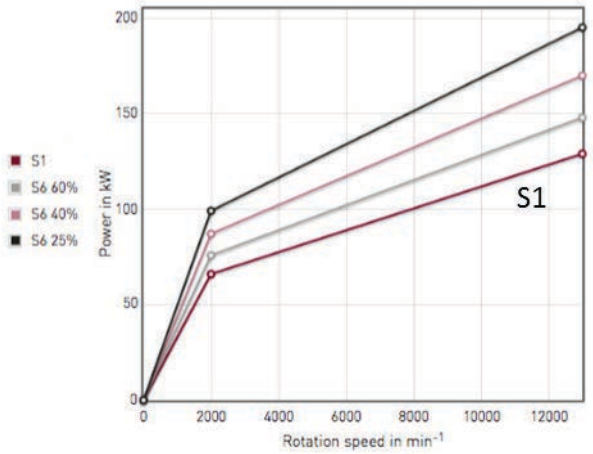
Tournez la page S.V.P.

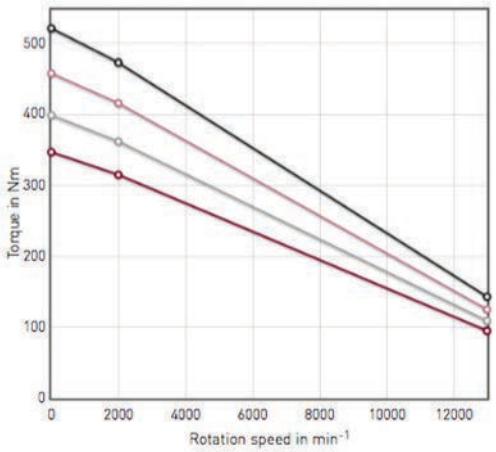
DOCUMENT RESSOURCE XIII

Caractéristiques moteurs électriques

Dans l'hélicoptère, le moteur électrique est censé fonctionner en continu (courbes de fonctionnement S1).

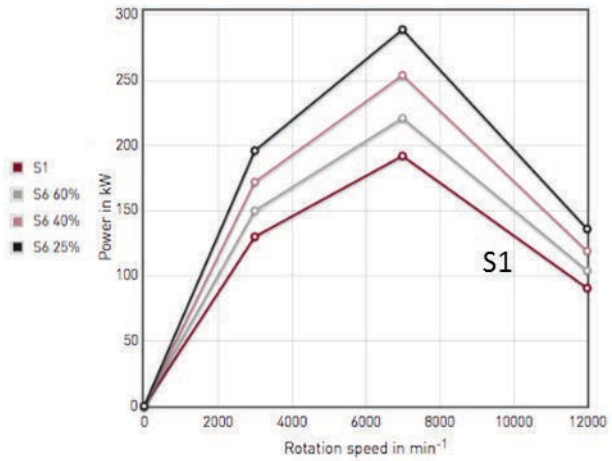
Moteur n°1 : MSPW 20/26-8-A1 ALKA

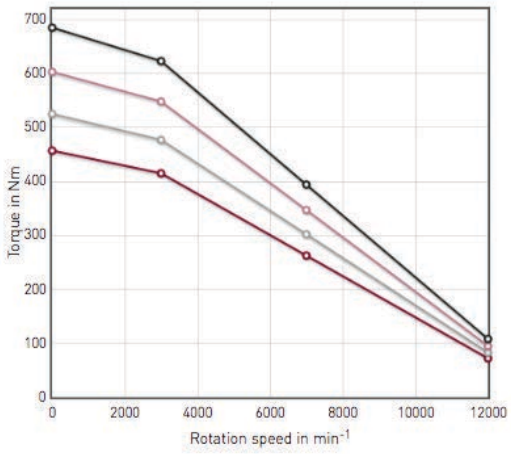




Puissance (KW) Couple (N.m)

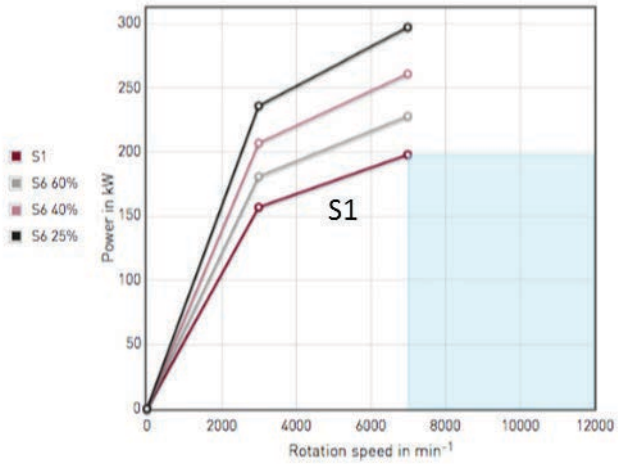
Moteur n°2 : MSPW 24/25-6-A1 ALKA

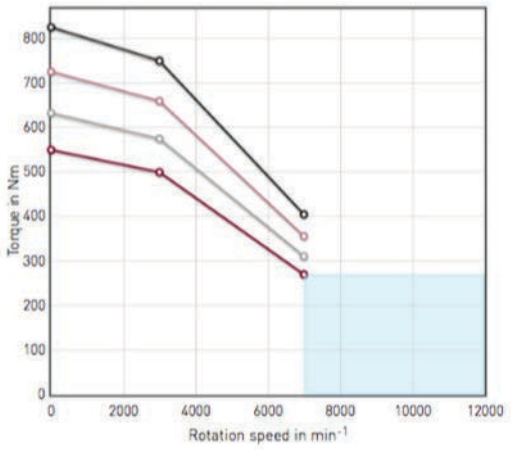




Puissance (KW) Couple (N.m)

Moteur n° 3 : MSPW 24/330-6-A1 ALKA





Puissance (KW) Couple (N.m)

DOCUMENT RESSOURCE XIV

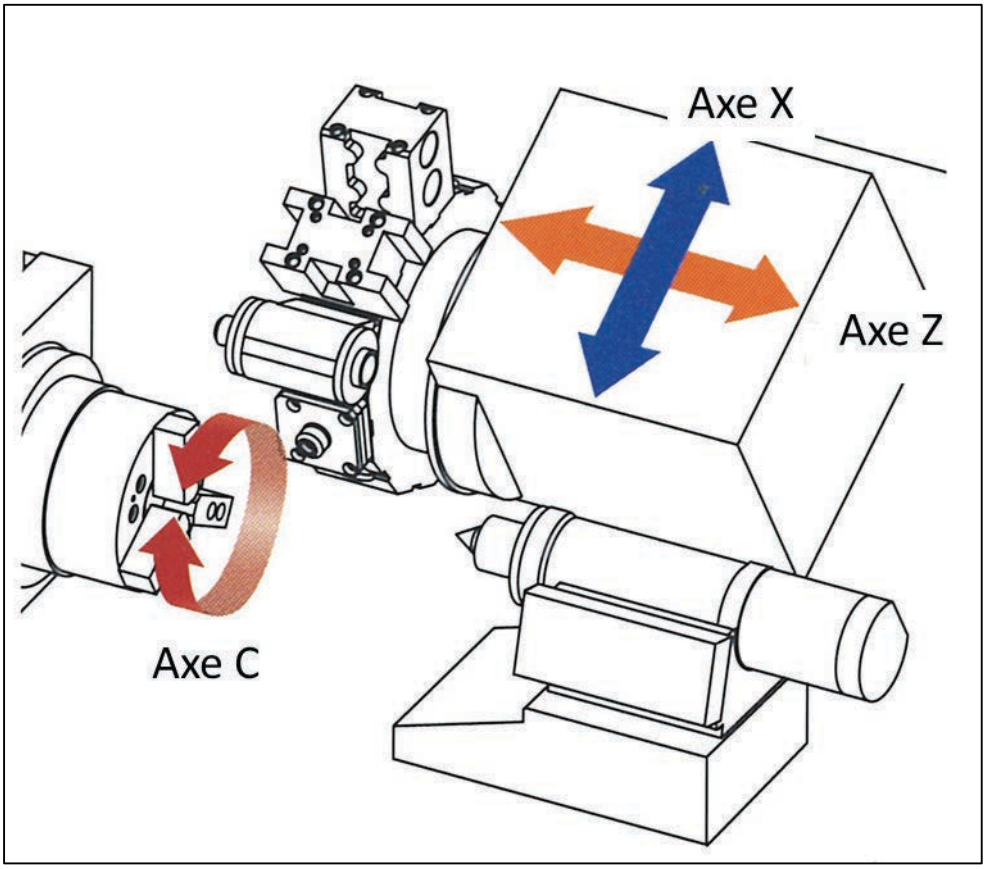
Contraintes de pression maximales admissibles

Matériaux			Contrainte maxima admissible (MPa)
Nature	**Désignation**		
Acier	Etat recuit	0,16 < C% < 0,22	240
		0,35 < C% < 0,40	280
		0,42 < C% < 0,48	320
	Etat trempé et revenu	R > 900 Mpa	750
		R > 1200 Mpa	1000
Alliage léger	Al Cu4 Mg1		180
	Al Mg1 Si		130
Polymére	PE LD		3
	ABS		5

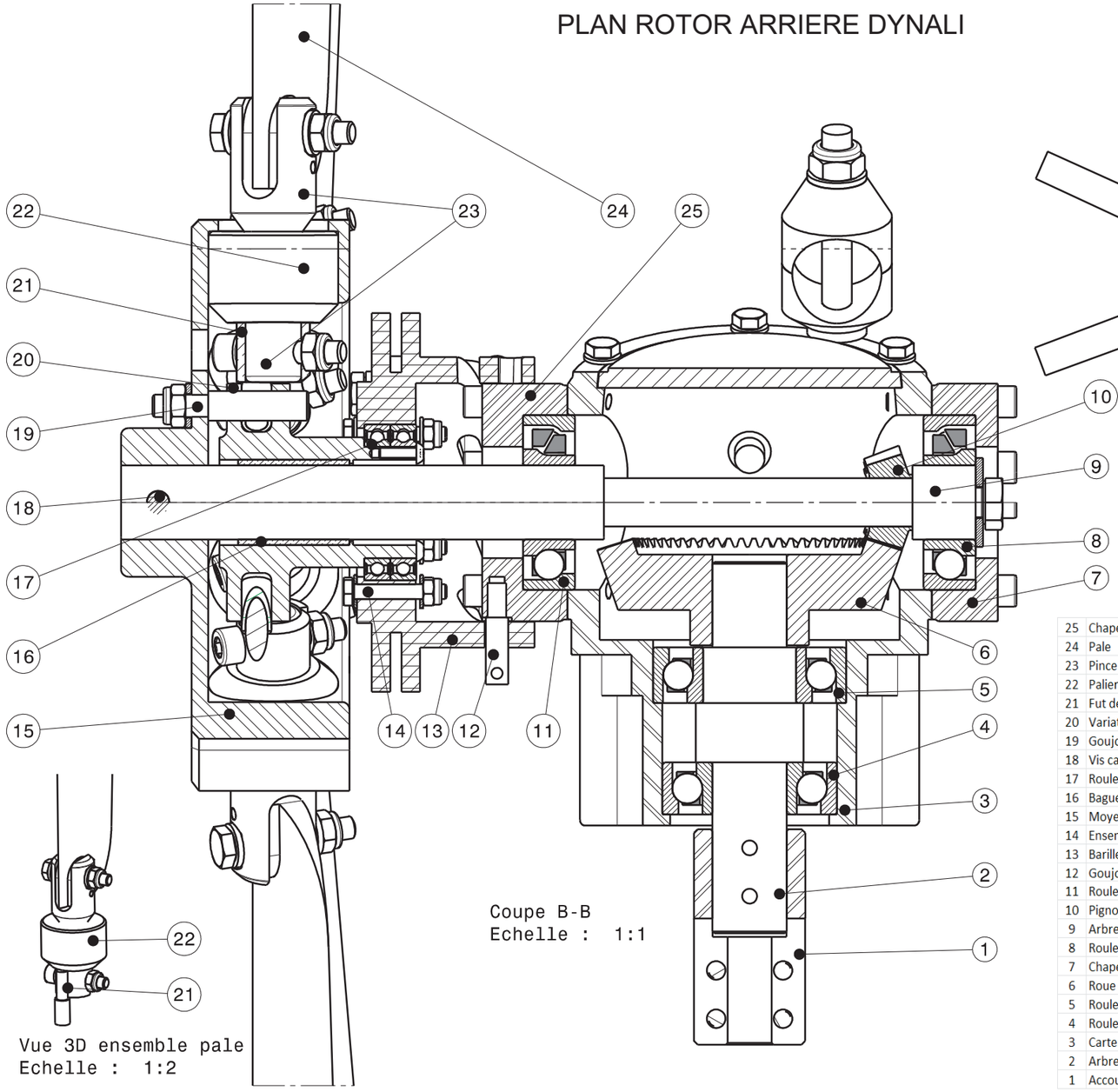
Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT RESSOURCE XV

Cinématique d'un tour 3 axes

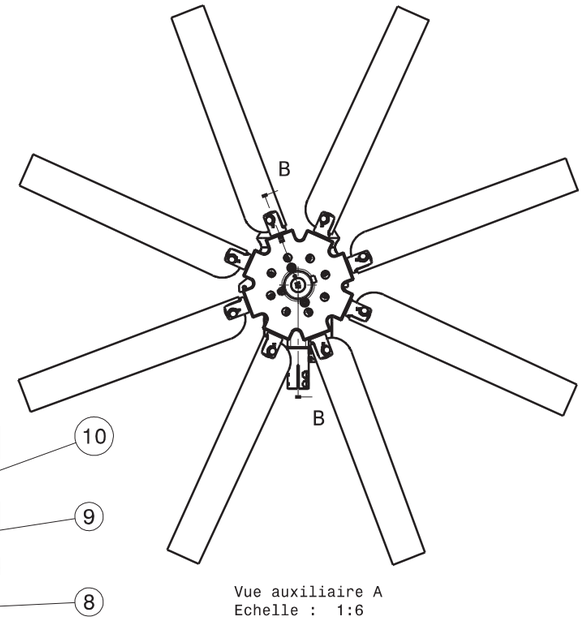


PLAN ROTOR ARRIERE DYNALI



Coupe B-B
Echelle : 1:1

Vue 3D ensemble pale
Echelle : 1:2



Vue auxiliaire A
Echelle : 1:6

25	Chapeau / palier gauche	1	
24	Pale	8	
23	Pince de pale	8	
22	Palier de la pince de pale	8	
21	Fut de pince de pale (doigt excentré)	8	
20	Variateur rotatif	1	
19	Goujon de guidage	2	
18	Vis calibrée de blocage	1	
17	Roulements	2	
16	Bague lisse	1	
15	Moyeu rotor anti-couple	1	
14	Ensembles vis / rondelles / écrous	8	
13	Barillet / variateur statique (came)	1	
12	Goujons d'actionnement	6	
11	Roulement	1	
10	Pignon conique à denture droite	1	z = 20
9	Arbre du rotor anti-couple	1	
8	Roulement	1	
7	Chapeau / palier droite	1	
6	Roue dentée conique à denture droite	1	z = 58
5	Roulement	1	
4	Roulement	1	
3	Carter rotor arrière	1	
2	Arbre d'entrée	1	
1	Accouplement arbre de poutre de queue / arbre d'entrée	1	

DANS CE CADRE

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)

NE RIEN ÉCRIRE

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

Cahier réponses

Épreuve de Sciences Industrielles C

Banque PT - 2018

D

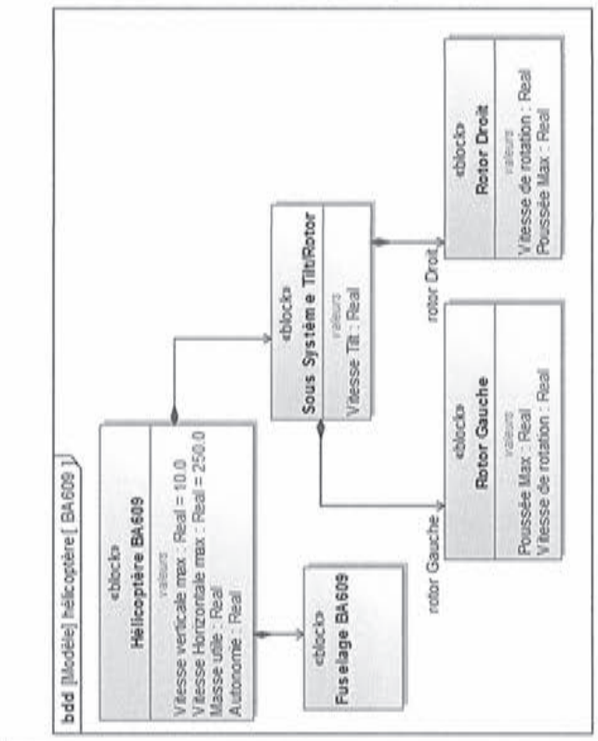
Tournez la page S.V.P.

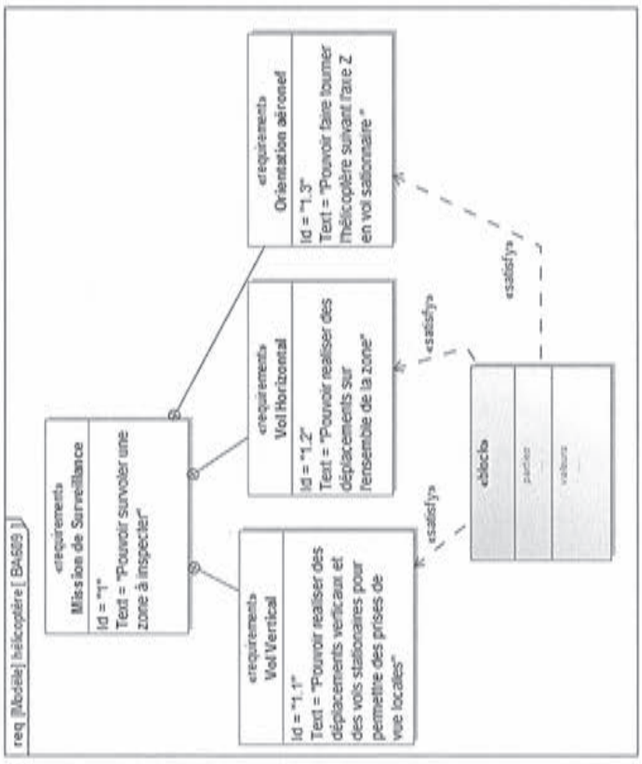
Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

1 – Analyse SYSML et justification des solutions

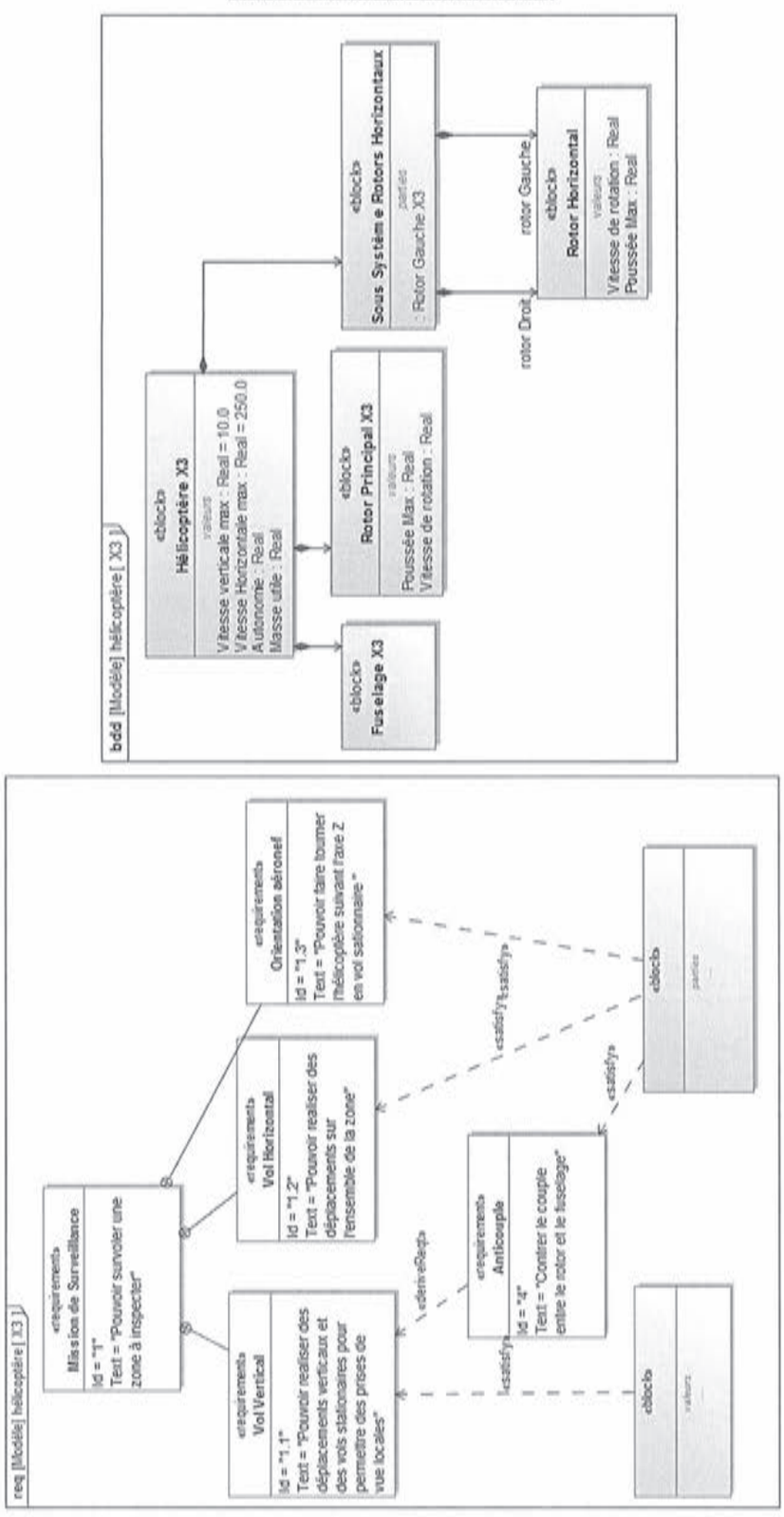
Modèle Bell/Agusta (BA609)





NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Modèle Airbus Helicopters (X3)



Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Exigences	« block » de la solution X3	« block » de la solution BA609
Vol vertical « 1.1 »		
Vol horizontal « 1.2 »		
Orientation aéronef « 1.3 »		
Anti couple « 4 »		

2 - *Calcul du travail nécessaire à la mise en rotation du rotor principal*

3 - *Calcul de la puissance induite*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

---

4 - *Calcul de la puissance en montée verticale et des couples (vol stationnaire et montée verticale)*

---

5 – *Fonction du rotor arrière*

---

6 – *Analyse de l'architecture X3*

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

---

7 - *Calcul de l'effort de poussée du rotor arrière en phases de vol stationnaire et vertical*

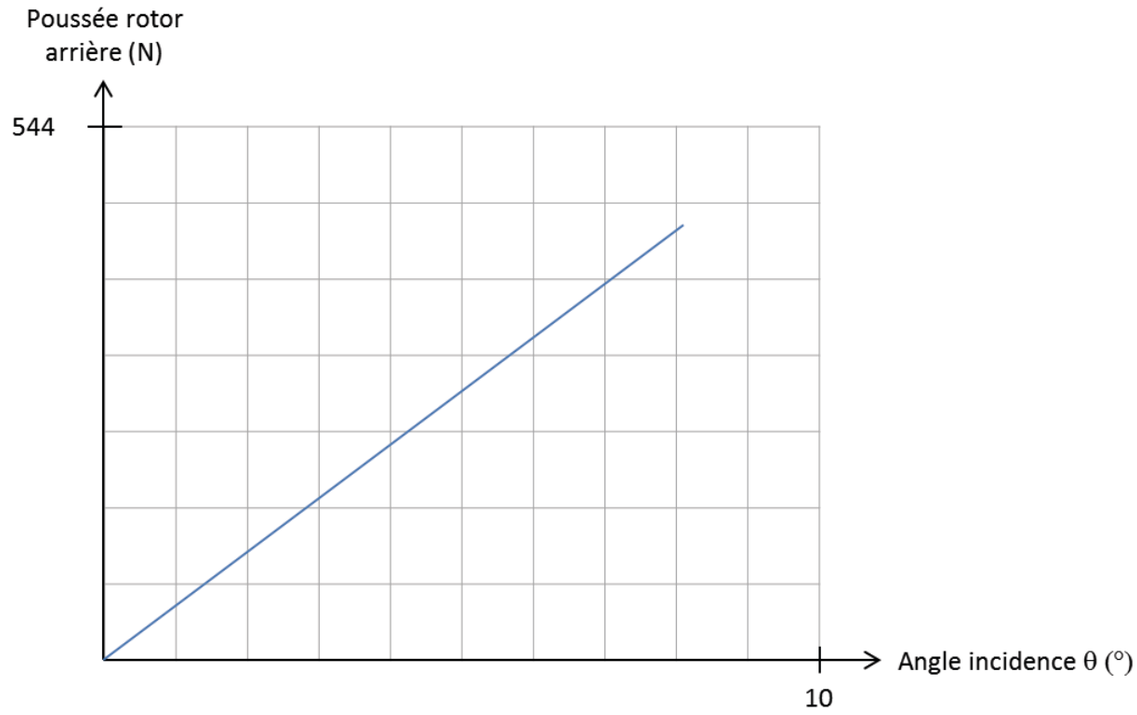
---

8 – *Relation poussée et angle d'incidence*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

---

9 – *Indentification de l'angle d'incidence du rotor arrière et validation* C_X



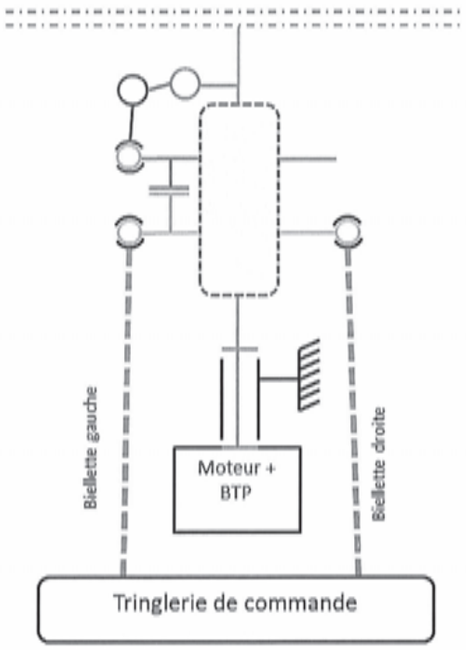
---

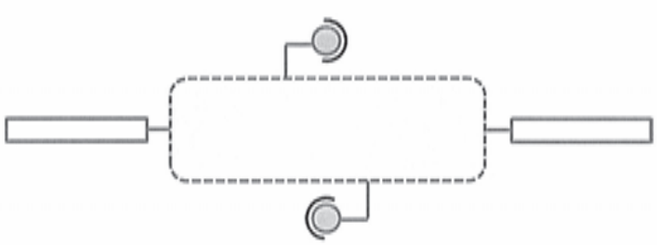
10 – *Expression et calcul du couple au rotor arrière*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

11 – *Calcul de la puissance au rotor arrière et la puissance globale nécessaire pour le moteur thermique ; conclure*

12 – *Schéma cinématique du mécanisme de commande du rotor principal (compléter les parties cachées)*





NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

13 – *Identification des organes de commande*

14 – *Calcul d'hyperstatisme de la tringlerie de commande*

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

15 – *Fonction de l'ensemble plateau cyclique*

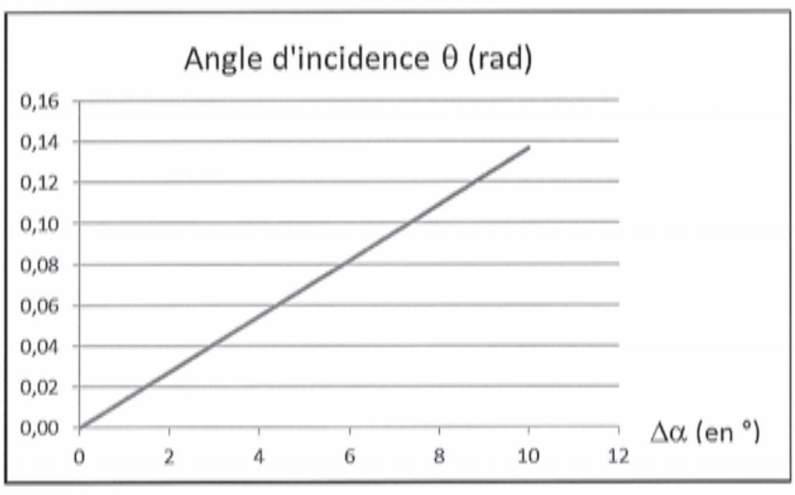
16 – *Schéma cinématique rotor arrière*

17 – *Organe de commande du rotor arrière*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

---

18 – *Loi de commande rotor arrière (expression littérale + analyse graphique)*



Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

19 – *Rapport de transmission moteur/rotor principal*

20 – *Rapport de transmission moteur / rotor arrière et calcul des vitesses de rotation*

21 – *Analyse solution technologique entre 9 et 20*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

22 – *Identification des erreurs de conception*

23 – *Correction des erreurs de conception*

A réaliser sur le calque réponse.

24 – *Type et justification des roulements pour le guidage de l'arbre 2*

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

25 – *Choix du moteur électrique*

26– *Calcul du courant maximum nécessaire*

27 – *Autonomie hélicoptère avec la solution électrique proposée*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

28 – *Expression littérale de c_1 et c_2*

29 – *Expression littérale de la masse optimale de la batterie pour le cas général ; commenter*

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

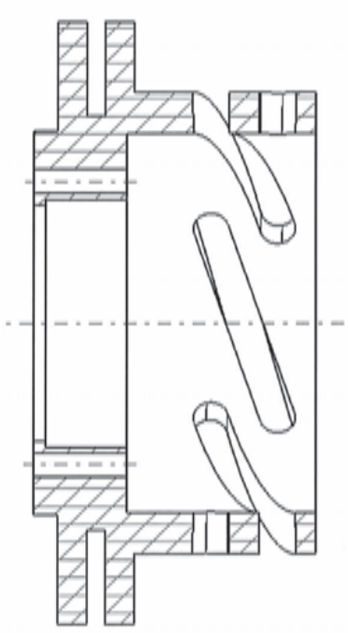
30 – *Hacheur pour le moteur choisi*

31 – *Codeur incrémental : type de signaux et fonctionnement*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

32 – *Caractérisation des sollicitations du barillet*

33 – *Identification surfaces fonctionnelles du barillet*



Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

34 – *Justification et description de la spécification*

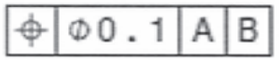
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

35 – *Analyse de spécifications*

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance					
	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 ***		
	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.						
Schéma extrait du dessin de définition						
⌭ 0,05						
⌖ Φ0.1 A B						

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

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**		
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 					

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

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

36 – *Analyse du matériau du barillet ; conclure*

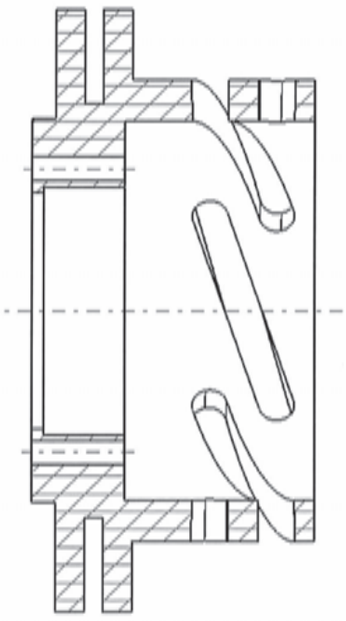
37 - *Définition de la gamme de fabrication*

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

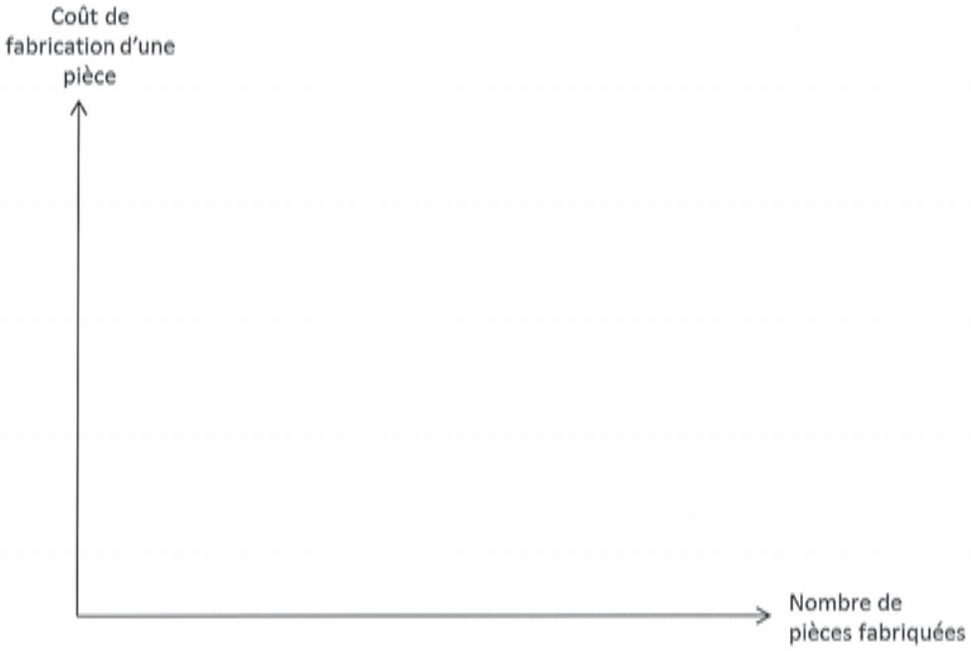
38 – *Contrôle de la spécification de cylindricité*

39 – *Géométrie du brut de fonderie*

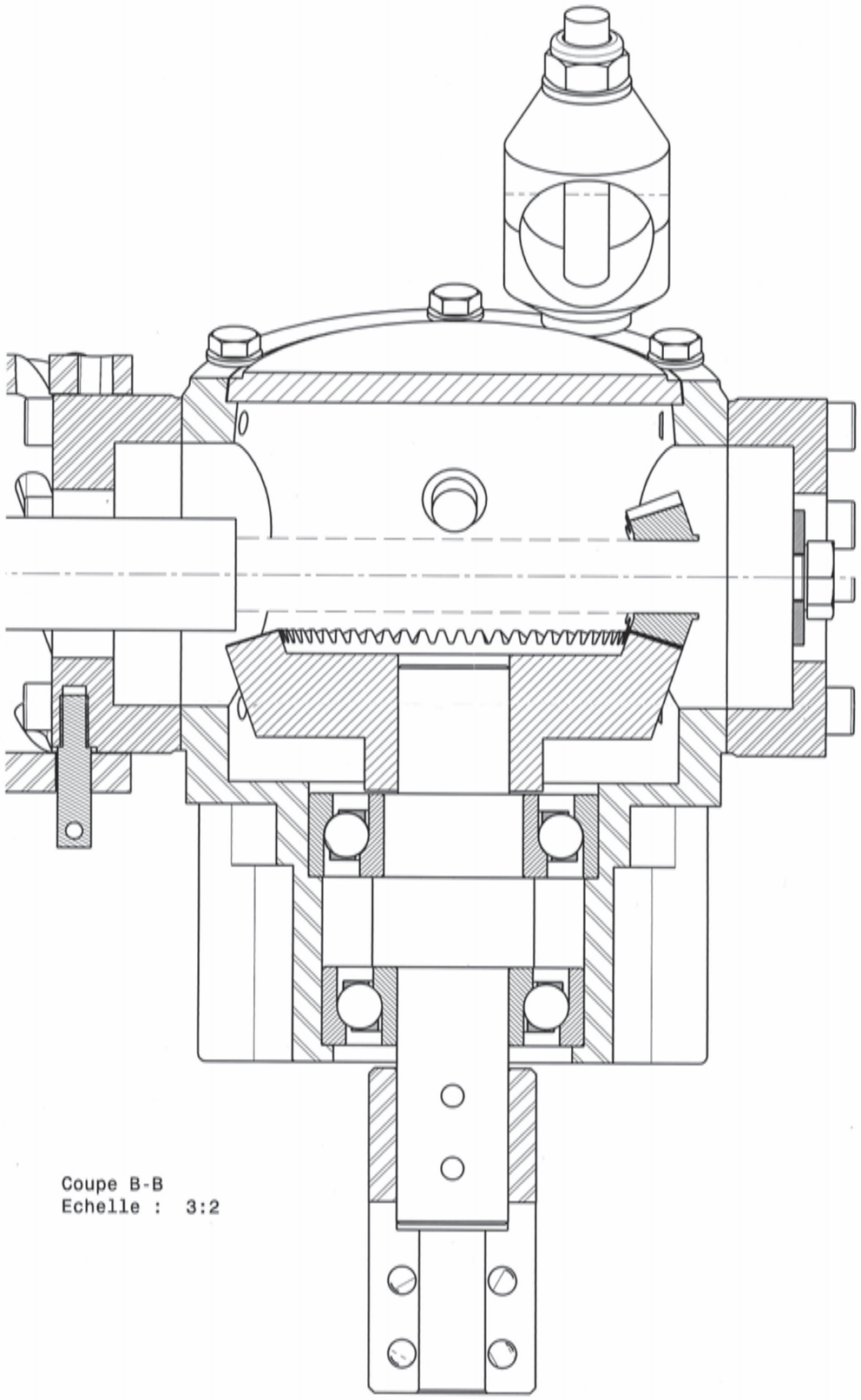


NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

40 – *Analyse économique*



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE



Coupe B-B
Echelle : 3:2

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
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Mobilité, hyperstatisme et petits déplacements
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages

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