

épreuve de conception des systèmes

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.

Ce sujet est constitué de :

- cette feuille A3 de présentation,
- huit pages d'énoncé,
- un dessin d'ensemble (document 1),
- un dossier technique comportant six documents numérotés de 2 à 7, répartis sur 5 feuilles :
 - document 2 : Fonctions de services et cahier des charges
 - document 3 : Diagramme FAST
 - document 4 : Nomenclature
 - document 5 : Modélisations 3D du mécanisme
 - document 6 : Moment de dévissage sur une pale
 - document 7 : Paramétrage partiel de l'assemblage des quatre pales
- un dossier rassemblant quatre documents-réponses :
 - document DR1a : Étude constructive du sous-ensemble régulateur
 - document DR1b : Étude constructive du sous ensemble régulateur, suite
 - document DR2 : Tableau des phases de fonctionnement
 - document DR3 : Spécifications géométriques du fond de casserole.

Après la distribution du sujet, le candidat dispose de 8 heures pour prendre connaissance du sujet et répondre aux questions des trois parties.

Les auteurs du sujet *recommandent* au candidat de répartir le temps de travail de la façon suivante :

- Lecture du sujet et **compréhension** du fonctionnement : **2 heures**
- Partie 1 (analyse de la régulation) : 3 heures 30
- Partie 2 (analyse des phases d'arrêt et de démarrage) : 1 heure 30
- Partie 3 (spécifications géométriques du fond de casserole) : 1 heure.

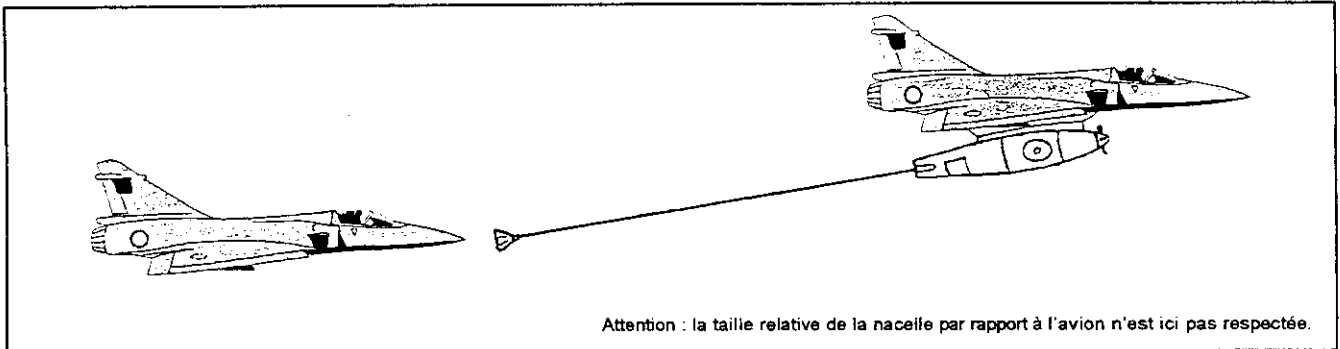
- **LES PARTIES 1 ET 2 SERONT RÉDIGÉES SUR DES COPIES SÉPARÉES DANS LESQUELLES ON INSÉRERA LES DOCUMENTS RÉPONSES CORRESPONDANTS.**
- **LA PARTIE 3 EST À RÉDIGER EXCLUSIVEMENT SUR LE DOCUMENT RÉPONSE CORRESPONDANT.**

MOULINET AÉRODYNAMIQUE

0 - INTRODUCTION

0-1 Définition du produit

L'importance des moyens aériens dans les conflits militaires modernes, nécessite des rayons d'action de plus en plus grands pour les avions de combat. Il est donc nécessaire de pouvoir les ravitailler en vol.

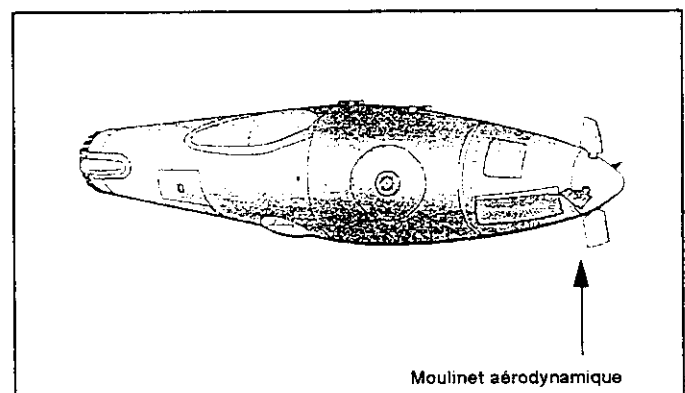
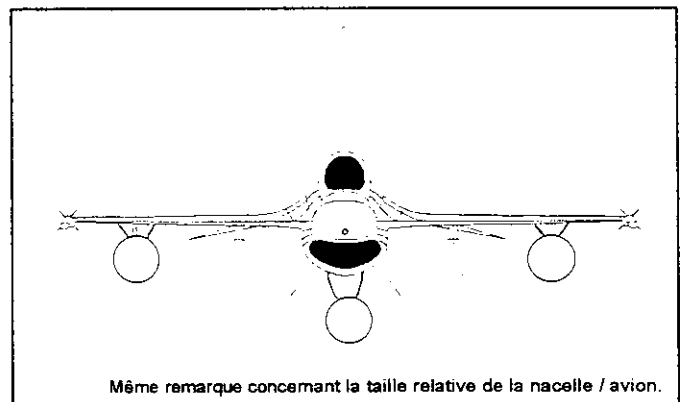


L'avion ravitailleur est pour cela muni d'une nacelle de ravitaillement qui doit :

- remplir deux fonctions principales :
 - dérouler / enrrouler la perche de ravitaillement,
 - transférer le carburant ;
- ne nécessiter aucune adaptation spécifique de l'avion ravitailleur (hormis un câble de commande), afin que n'importe quel avion de combat puisse remplir ce rôle, ceci pour des raisons évidentes de souplesse d'utilisation du dispositif.

Ce second point impose deux contraintes fortes :

- La nacelle doit s'adapter aux supports standard d'armement de combat, qui se trouvent soit en position centrale, soit aux extrémités des ailes.
- L'alimentation en énergie de la nacelle ne doit pas provenir de l'avion ravitailleur mais d'un dispositif intégré à la nacelle elle-même. Parmi les différentes solutions envisageables (comme le transport de batteries par exemple) la production d'énergie à partir d'un aérogénérateur (moulinet aérodynamique) est retenue pour son remarquable rapport puissance / poids.



Le moulinet objet de l'étude ici proposée, développé par une société française à partir d'un brevet américain, est une turbine autorégulée en vitesse de rotation présentant quatre pales à angle d'incidence variable, conçue pour une durée de vie de 3000 heures à raison de 200 heures d'utilisation par an.

Il actionne une pompe hydraulique intégrée dans la nacelle qui fournit l'énergie hydraulique nécessaire au fonctionnement de celle-ci.

Le dossier technique fourni rassemble :

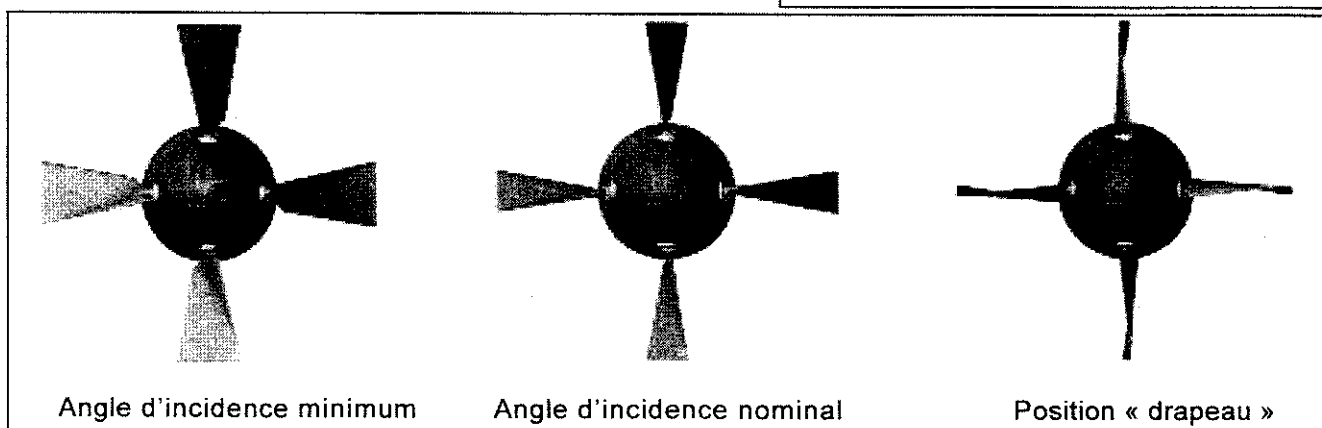
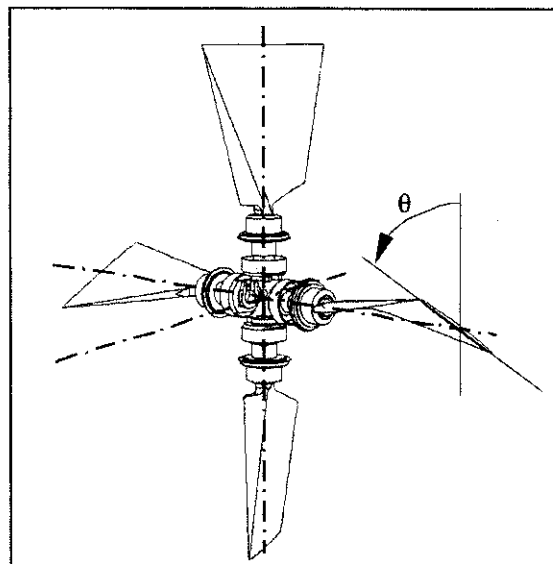
- différents éléments de l'analyse fonctionnelle de ce moulinet aboutissant à la définition de son cahier des charges (norme X50-151),
- le dessin d'ensemble à l'échelle 1 :1, sa nomenclature, ainsi que des représentations réalisées à l'aide d'un modèleur 3D aidant à sa lecture,
- une donnée utile d'aérodynamique : moment de dévissage sur une pale,
- le paramétrage de l'assemblage des quatre pales.

0-2 Fonctionnement

0-2-1 Définition de l'angle d'incidence

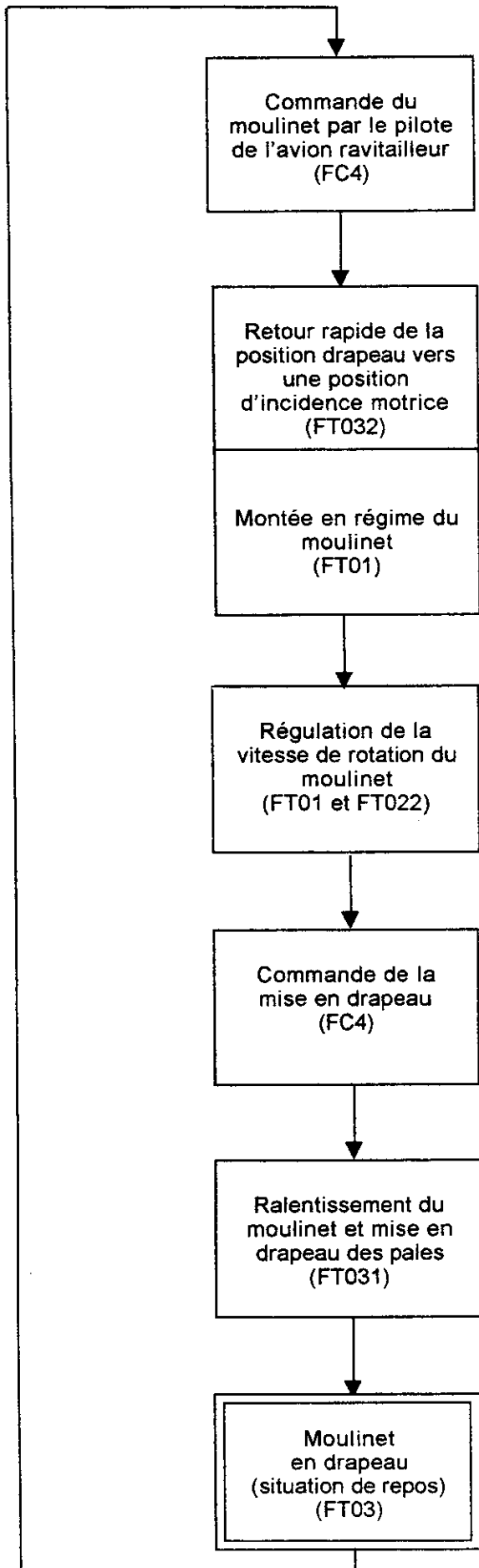
L'angle d'incidence θ des pales est paramétré à la valeur **90° pour la position drapeau** (position de repos : le couple aérodynamique sur le moulinet est nul).

Il est voisin d'une valeur de 65° en fonctionnement nominal.



0-2-2 Description d'une séquence de fonctionnement

Le fonctionnement du moulinet peut être décrit séquentiellement par le diagramme ci-après, qui renvoie à certaines fonctions définies dans l'analyse fonctionnelle donnée dans le dossier technique.



Cette commande s'effectue par un simple interrupteur situé dans le cockpit. Elle permet l'alimentation de l'électroaimant. Cela a pour effet de rappeler le plateau frein 45 qui libère le pignon lié au disque 47.

L'ensemble possède alors une cinématique à deux mobilités. L'action de ressorts de rappel (ressorts de retour drapeau 26) conduit alors à la rotation des pales les éloignant de la position drapeau (angle d'incidence décroissant). Les pales se présentent alors au vent relatif dans une position permettant l'entraînement du moulinet.

La régulation de la vitesse de rotation du moulinet est obtenue par un régulateur à masselottes 15 dont la position radiale est liée à l'angle d'incidence par des cannelures hélicoïdales.

Cette commande s'obtient en coupant l'alimentation de l'électroaimant afin de libérer le plateau de frein 45 qui vient alors freiner le disque 47 sous l'action des ressorts 46.

La rotation par inertie du moulinet, ralentie par le frein, provoque la rotation des pales vers la position drapeau. Cette phase de fonctionnement permet également d'emmagasiner de l'énergie pour le fonctionnement inverse en comprimant les ressorts 26.

Dans cette position, une fois toute l'énergie cinétique absorbée par le frein et les ressorts, le moulinet ne tourne pas.

0-3 Études proposées

Dans le cadre précédemment défini, ce sujet comporte trois parties permettant de s'intéresser à cinq fonctions techniques :

- Analyse de la régulation : FT022
- Analyse de la phase d'arrêt et de la phase de redémarrage : FT031 et FT032
- Étude d'une partie des spécifications géométriques du fond de casserole liées aux fonctions FT0121 et FT013.

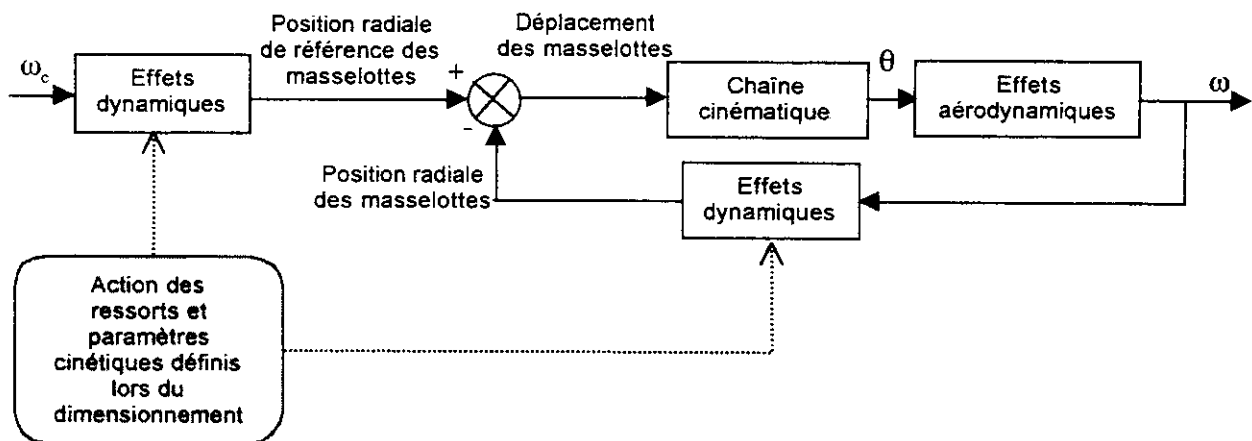
➤ LES PARTIES 1 ET 2 SERONT RÉDIGÉES SUR DES COPIES SÉPARÉES DANS LESQUELLES ON INSÉRERA LES DOCUMENTS RÉPONSES CORRESPONDANTS.
 ➤ LA PARTIE 3 EST À RÉDIGER EXCLUSIVEMENT SUR LE DOCUMENT RÉPONSE CORRESPONDANT.

1 – ANALYSE DE LA RÉGULATION (FT022)

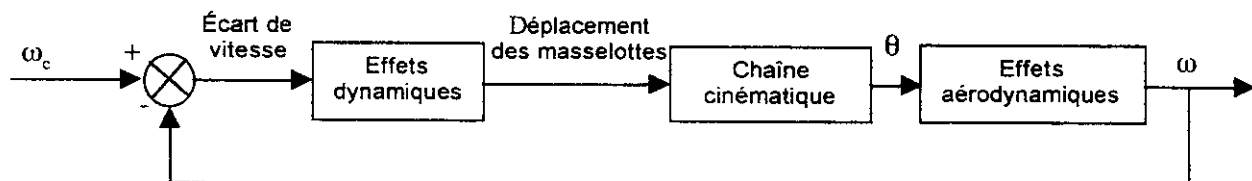
La régulation de vitesse a pour but de fournir une énergie mécanique régulée à la nacelle. Elle est obtenue par un régulateur à masselottes.

Chaque pale possède un ensemble régulateur qui permet de lier la position radiale des masselottes et la position angulaire des pales, c'est à dire l'angle d'incidence θ . La diminution de l'angle d'incidence a pour effet de diminuer la vitesse de rotation. Inversement une diminution de la vitesse de rotation du moulinet entraîne une augmentation de l'angle d'incidence, ce qui a pour effet d'augmenter la vitesse de rotation. Un dimensionnement correct de l'ensemble permet une régulation de la vitesse de rotation ω du moulinet autour de la valeur $\omega_c = 4000$ tr/min définie par le cahier des charges.

Cette régulation peut-être modélisée par le schéma fonctionnel suivant :



Ou encore :



Question 1-1 :

✍ Établir le schéma cinématique en perspective du mécanisme de régulation.

Question 1-2 :

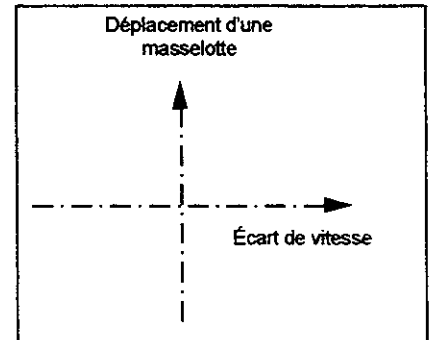
✍ Faire le bilan des actions mécaniques s'exerçant, d'une part sur une pale, d'autre part sur sa masselotte, en phase de régulation.

✍ Déterminer alors quantitativement la caractéristique du bloc fonctionnel « effets dynamiques » définie ci-contre.

Certaines valeurs numériques non fournies devront être relevées sur le plan d'ensemble.

Des approximations seront admises, si elles sont correctement justifiées.

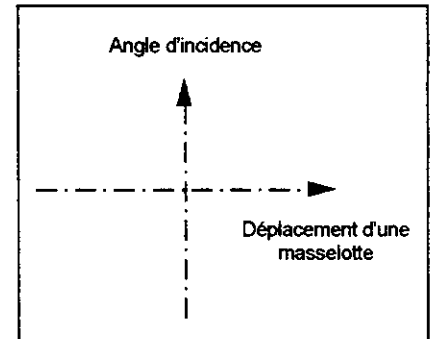
Conclure quant au respect des performances exigées par le cahier des charges en termes de plage de régulation.



Question 1-3 :

✍ Déterminer quantitativement la caractéristique du bloc fonctionnel « chaîne cinématique » définie ci-contre.

Conclure quant à la plage de variation d'angle d'incidence correspondant à la plage de régulation.



Question 1-4 :

Le guidage en translation des masselottes impose un contact bilatéral des galets 13 dans une rainure radiale du fond de casserole 2. Afin de limiter la détérioration d'une pièce complexe et coûteuse, un insert technique est logé dans la pièce 2.

✍ Établir un dessin à main levée (mode de représentation au choix) de cet insert en spécifiant en légende le rôle fonctionnel de chacune des surfaces contribuant à la fonction globale.

Question 1-5 :

La précharge du ressort de compression 9 est obtenue lors du montage du couvercle 7 dans la casserole 1.

✍ Préciser la nature et la structure de la solution constructive retenue (en vous aidant de croquis par exemple) et indiquer ce qui garantit, en phase de fonctionnement, l'indémontabilité de cet assemblage.

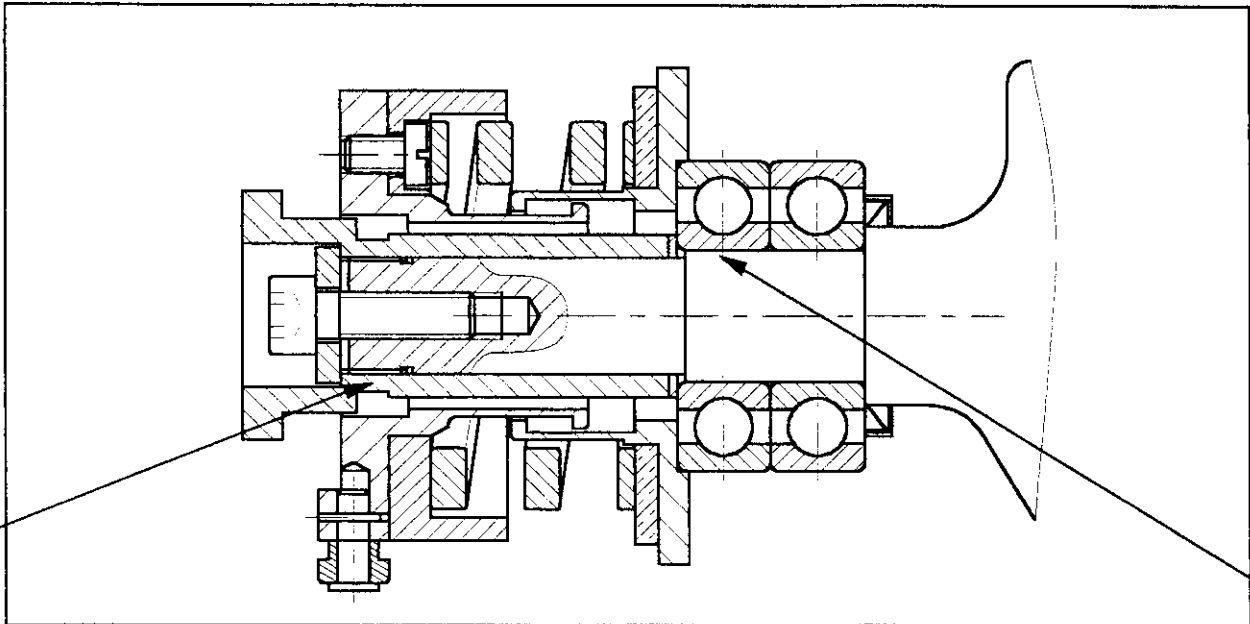
Question 1-6 :

L'exploitation du moulinet et les opérations de maintenance qui sont régulièrement effectuées suite à des dysfonctionnements, conduisent à faire évoluer les solutions constructives permettant d'assurer les fonctions FT0221 et FT0222.

1) Conception d'un boîtier interchangeable :

Afin d'accroître la disponibilité du moulinet on se propose de rechercher une solution qui permette un remplacement rapide de l'ensemble des éléments en liaison dans la réalisation de la fonction FT022. Il s'agit donc d'organiser le sous-ensemble (logique de boîtier porte pale) en conservant comme invariants les fonctions techniques contribuant à la fonction FT022 et les solutions constructives qui n'ont pas fait l'objet de défaillances.

Le dessin ci-dessous délimite les éléments à intégrer au boîtier interchangeable :



2) Re-conception de certaines liaisons :

Par ailleurs une observation des interventions montre que les défaillances proviennent principalement :

- de la liaison complète entre la pale 3 et le manchon à cannelures hélicoïdales 17 : en effet celle-ci est réalisée par des cannelures de petites dimensions (type dentelures) et par vis et rondelle en bout d'arbre. Du fait des caractéristiques mécaniques des matériaux en contact, cette solution conduit à une détérioration trop rapide de la pale.
- de la détérioration de l'arbre en alliage d'aluminium au contact des deux roulements.

Il s'agit donc également de proposer des modifications constructives permettant de supprimer ces causes assignables de dysfonctionnement.

Travail demandé :


- Sur le document réponse DR1a, établir le dessin d'avant-projet du sous-ensemble monté. Des vues ou coupes complémentaires, en plan ou en perspective, doivent être utilisées si elles facilitent la compréhension.
- Sur le document réponse DR1b, associer à la solution proposée une nomenclature partielle limitée aux fonctions traitées et rédiger pour chacune des modifications constructives une courte note expliquant ou justifiant la solution proposée (note synthétique constituant la base d'un argumentaire qui serait développé dans le cadre d'une revue de projet).

2 – ANALYSE DES PHASES D'ARRÊT (FT031) ET DE REDÉMARRAGE (FT032)


2-1 Phase d'arrêt : mise en drapeau

La position de drapeau est définie par $\theta=90^\circ$. Dans cette position, le couple aérodynamique sur les pales est nul, le moulinet n'est donc pas entraîné en rotation : ce doit être la position des pales lorsque le moulinet n'est pas utilisé. Pour placer le moulinet en position drapeau, le pilote commande la coupure d'alimentation de l'électroaimant.

Question 2-1-1 :


 Établir le schéma cinématique en perspective du mécanisme plaçant le moulinet en position drapeau. La chaîne de solides relative à la régulation ne sera pas représentée.

Question 2-1-2 :

 À partir de la forme générale du théorème de l'énergie cinétique, et par identification qualitative des puissances mises en jeu, expliquer en quelques lignes le fonctionnement du moulinet lors de cette phase d'arrêt.


Question 2-1-3 :

On s'intéresse ici à, la liaison hélicoïdale entre la vis 22 et le combineur 32.

 La nomenclature fait apparaître que la vis se caractérise par un pas important : justifier cette caractéristique.

 Indiquer, en le justifiant à l'aide d'un croquis, quel doit être le sens du filet.

La liaison entre la vis et le combineur est réalisée, d'une part par un contact vis-écrou, d'autre part par un contact cylindrique à l'aide d'un coussinet.

 À partir d'une analyse des mobilités du combineur par rapport au fond de casserole, indiquer les conditions de fonctionnement qui régissent les relations de contact entre vis et coussinet d'une part, et entre vis et combineur d'autre part.

2-2 Phase de redémarrage : retour drapeau

Au début de cette phase, le moulinet est en position drapeau, il ne tourne pas. La mise en marche du moulinet est obtenue par le pilote en commandant l'alimentation de l'électroaimant.

Question 2-2-1 :

 Décrire en quelques lignes le fonctionnement du moulinet lors de cette phase de redémarrage.

Question 2-2-2 :

✍ Justifier le caractère unilatéral des cannelures hélicoïdales réalisant la liaison entre une pale et sa masselotte.

✍ Dans cette phase de transition, proposer alors un modèle de liaison entre pale et masselotte.

2-3 Bilan

Les analyses précédentes ont mis en évidence le caractère unilatéral des cannelures hélicoïdales réalisant la liaison entre une pale et sa masselotte. En y associant l'analyse précise des différentes positions du combineur 32, cette question a pour objet de faire le bilan des états du moulinet selon ses trois phases de fonctionnement.

Question 2-3 :

✍ Compléter le tableau du document réponse DR2, afin de définir l'état des contacts entre une pale et sa masselotte (section C-C du plan d'ensemble) et la position du combineur (coupe B-B du plan d'ensemble) pour les différentes phases du fonctionnement du moulinet. Les mouvements relatifs seront indiqués par des flèches sur les croquis demandés.

3 – SPÉCIFICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU FOND DE CASSEROLE (FT0121 ET FT013)

On se propose d'étudier une partie des spécifications géométriques du fond de casserole 2. Les spécifications recherchées seront limitées à une fonction particulière :

Récupérer l'énergie cinétique du vent relatif sur les pales pour créer un couple aérodynamique :

- *dont la direction est parallèle à l'axe longitudinal de la nacelle, perturbant le moins possible la traînée de l'avion (FT0121),*
- *minimisant les efforts dynamiques sur le mécanisme (FT013).*

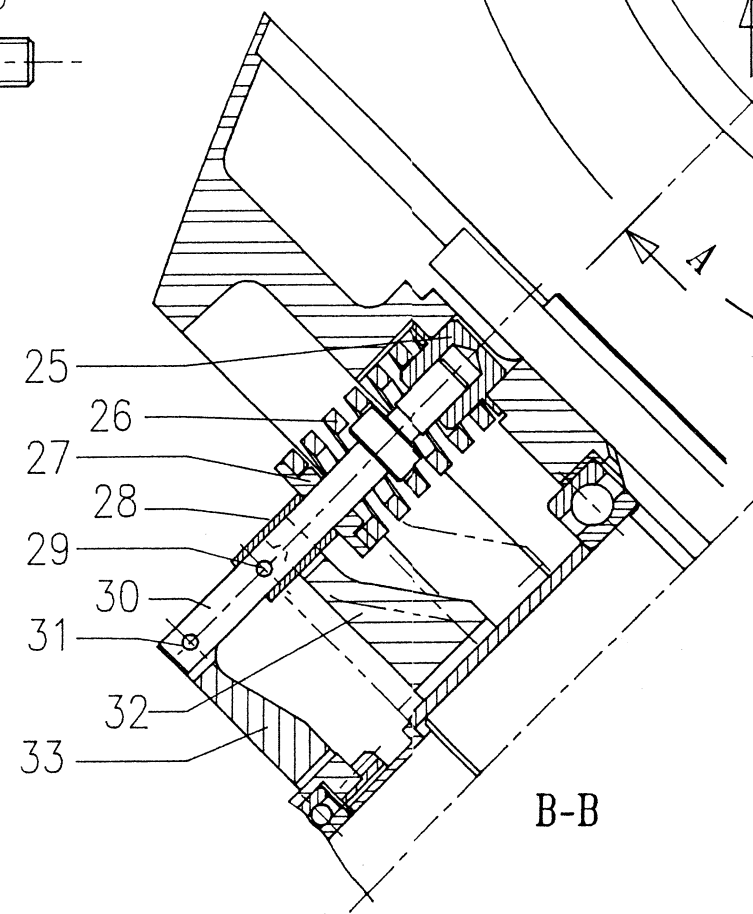
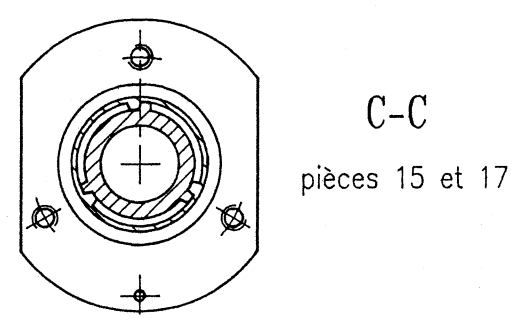
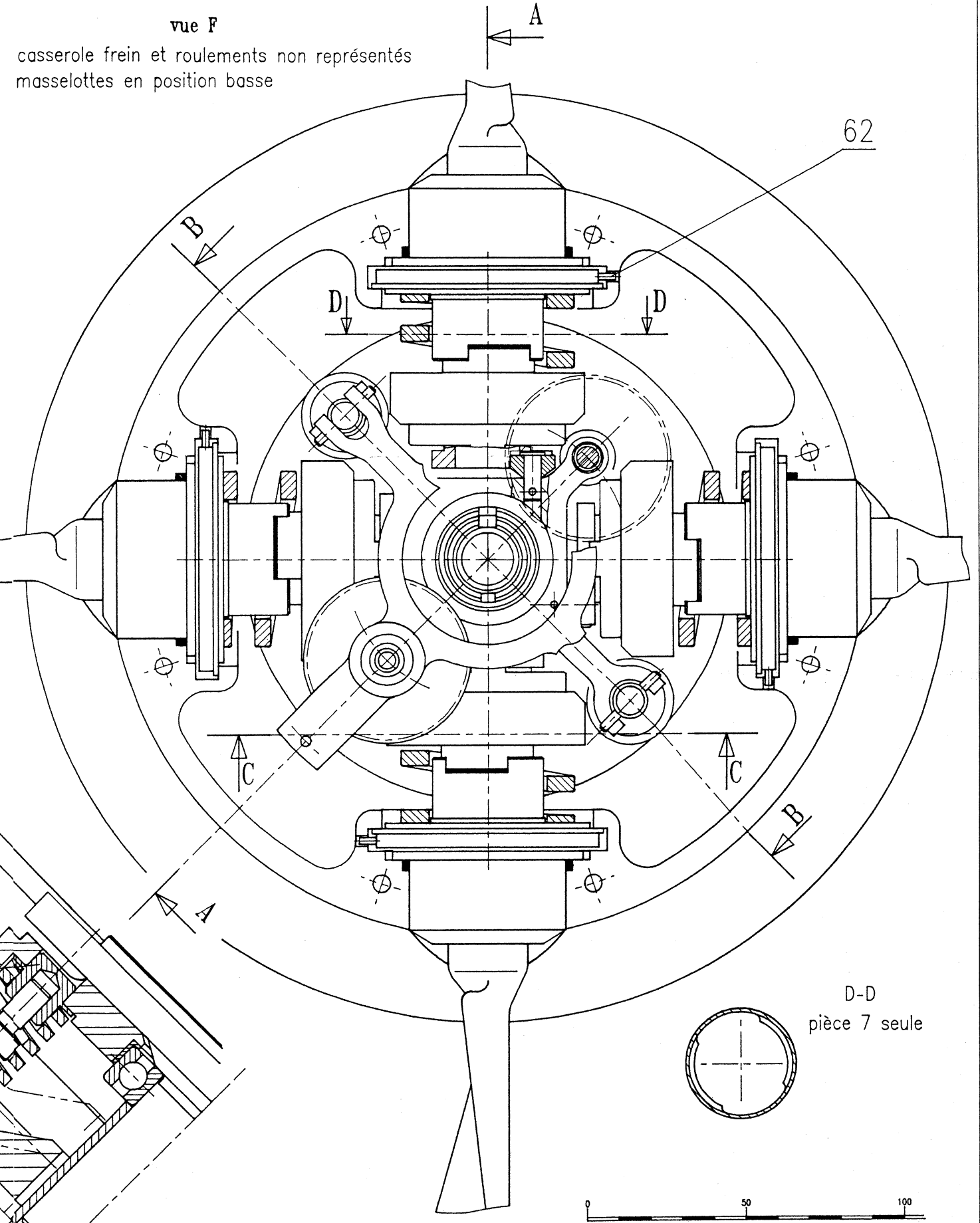
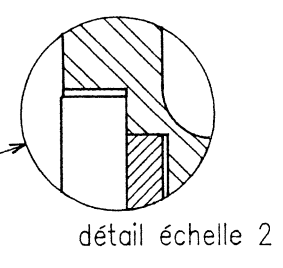
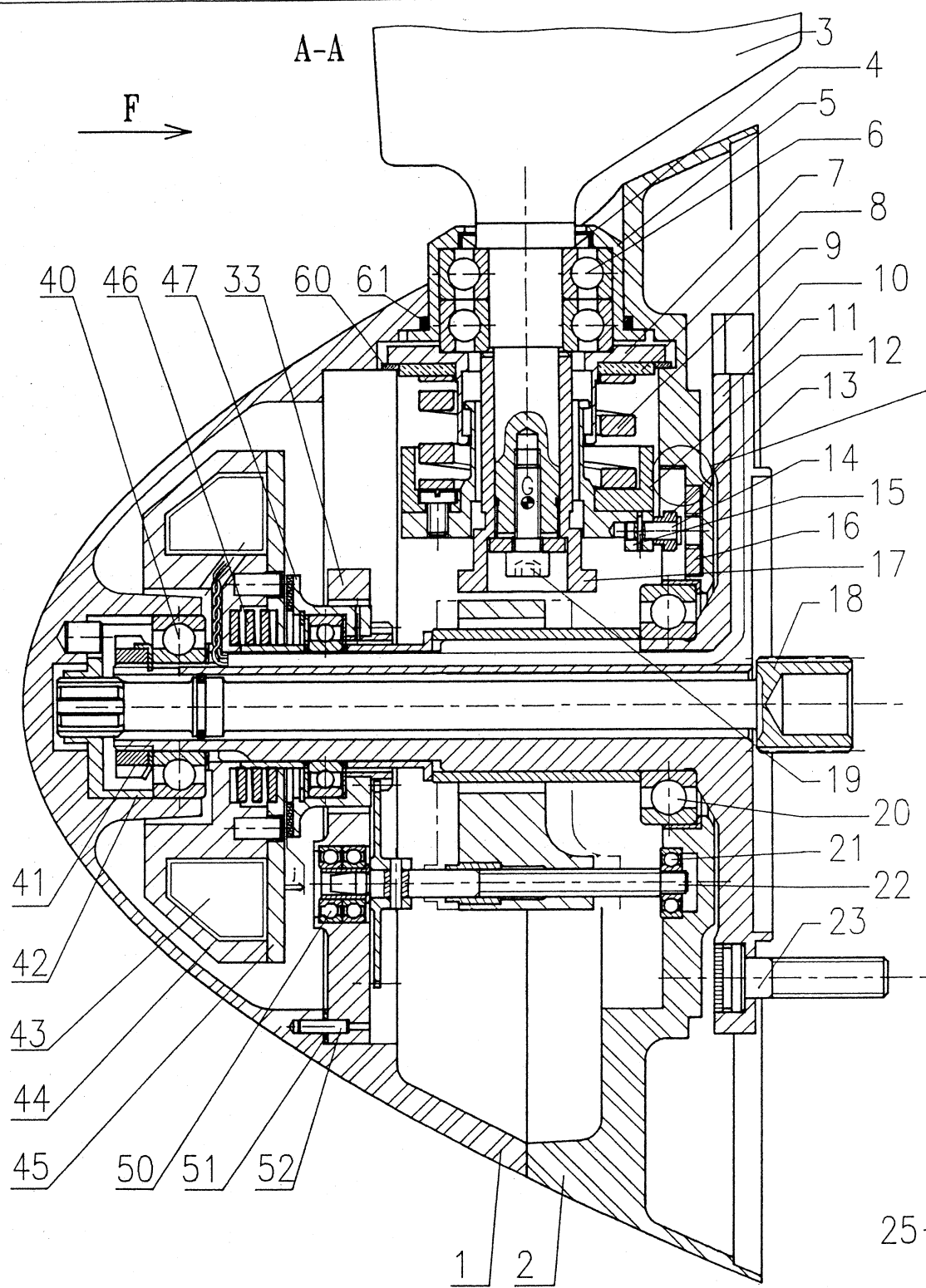
Question 3-1 :

✍ Sur le document réponse DR3, compléter le diagramme de type FAST proposé, afin d'exprimer littéralement les conditions géométriques de fonctionnement à réunir sur les pales et le fond de casserole 2 pour garantir la fonction de service recherchée.

On considérera que les quatre pales sont identiques et qu'elles sont montées dans les mêmes conditions dans leurs boîtiers.

Question 3-2 :

✍ Sur le dessin de définition du fond de casserole 2 donné sur le document réponse DR3, traduire qualitativement chaque contrainte géométrique proposée par des spécifications géométriques respectant le code ISO normalisé en cours. Il est demandé d'utiliser une couleur différente pour chaque fonction technique.



Document 1: Dessin d'ensemble

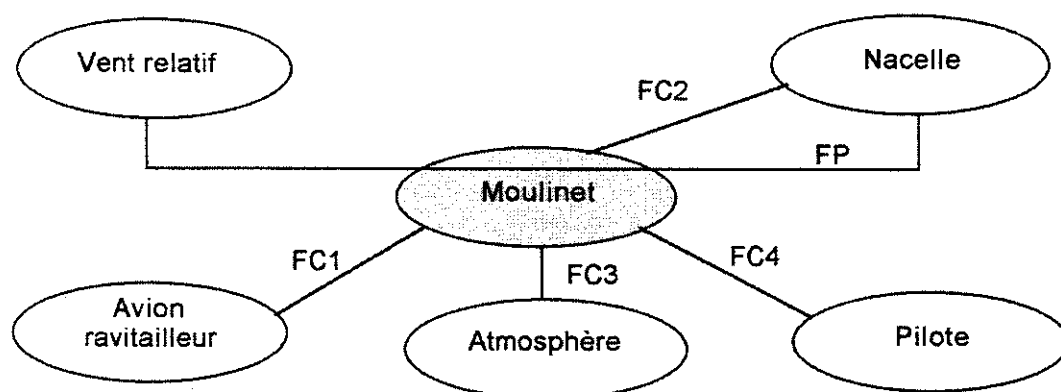
MOULINET

échelle 1:1

DOSSIER TECHNIQUE

	Format
Document 2 : Fonctions de services et cahier des charges	A4
Document 3 : Diagramme FAST	A3
Document 4 : Nomenclature	A4
Document 5 : Modélisations 3D du mécanisme	A3
Document 6 : Moment de dévissage sur une pale	} A4
Document 7 : Paramétrage partiel de l'assemblage des quatre pales	

Document 2 : fonctions de services et cahier des charges



FP : fournir à la nacelle l'énergie du vent relatif

FC1 : perturber le moins possible l'avion

FC2 : s'adapter à la nacelle

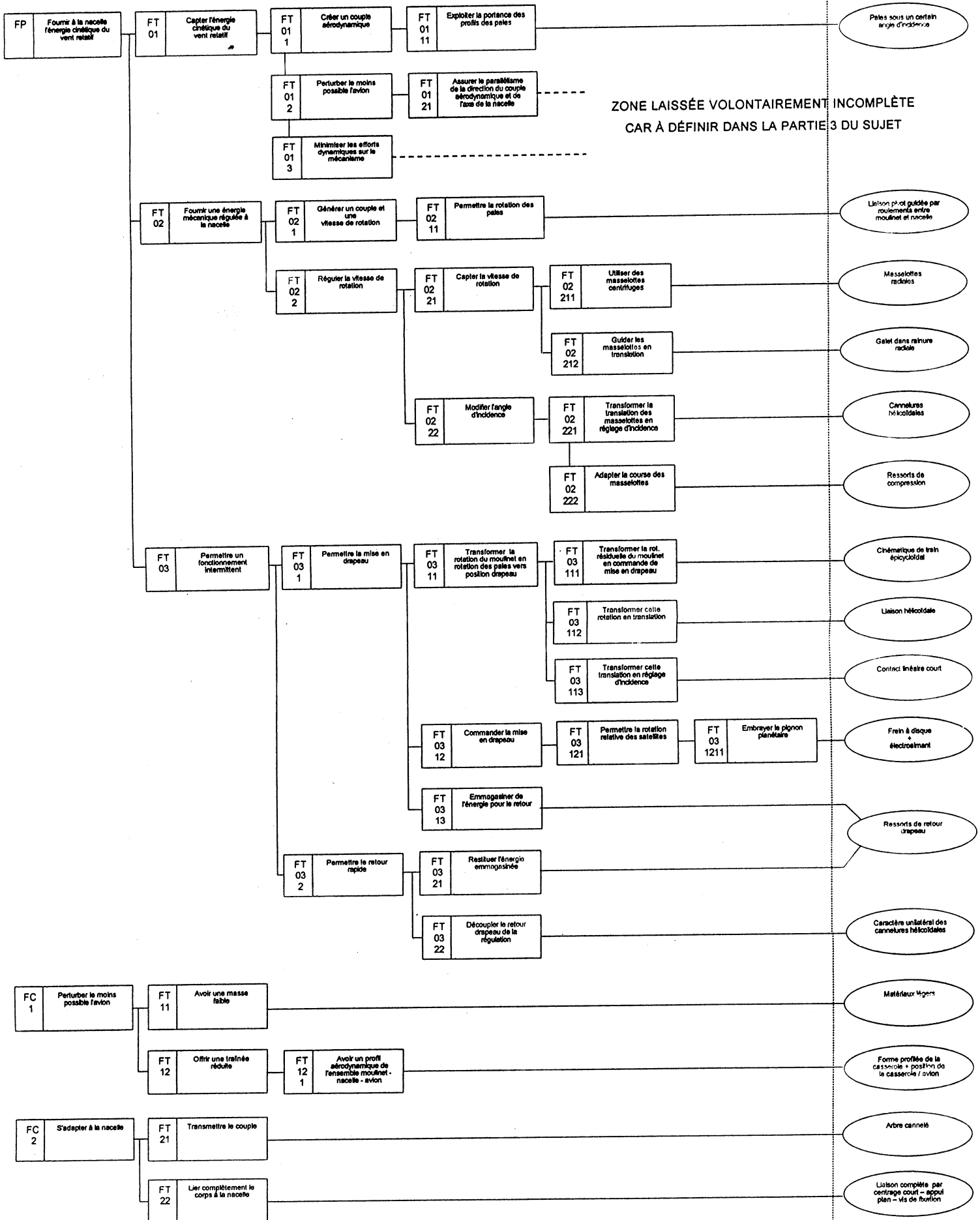
FC3 : être opérationnel sous les conditions de pression, humidité, température, et corrosion usuelles

FC4 : être commandé par le pilote

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
FP	Domaine de vol Puissance fournie Régulation de vitesse Sens de rotation Temps de mise en drapeau Temps de retour drapeau	200 nœuds (≈ 100 m/s) 44 ch (≈ 32 kW) 4000 tr/mn (≈ 420 rad/s) pour une incidence de 63° anti-horaire 20s 20s	300 maxi Mini $\pm 10\%$ Impératif Maxi Maxi
FC1	Trainée réduite Masse minimale	Profil dans la continuité de celui de la nacelle Couple nul hors service 15 kg	 < 5 N.m Maxi
FC2	Encombrement Fixation Accouplement à la pompe	Diamètre hors-tout < 22,5 in ($\approx 0,57$ m) 6 vis 3/8-1 in. Cannelures $\varnothing 1,25$ in - 16 dents	Impératif Impératif Impératif
FC3	Étanchéité Résistance à la corrosion	Parfaite Résistance de tous les composants	
FC4	Actionnable depuis l'avion ravitailleur	Commande électrique Sous tension 30 Vcc	Maxi

FONCTIONS

SOLUTIONS



Document 3 : Diagramme FAST partiel limité aux fonctions FP, FC1 et FC2.

Document 4 : nomenclature

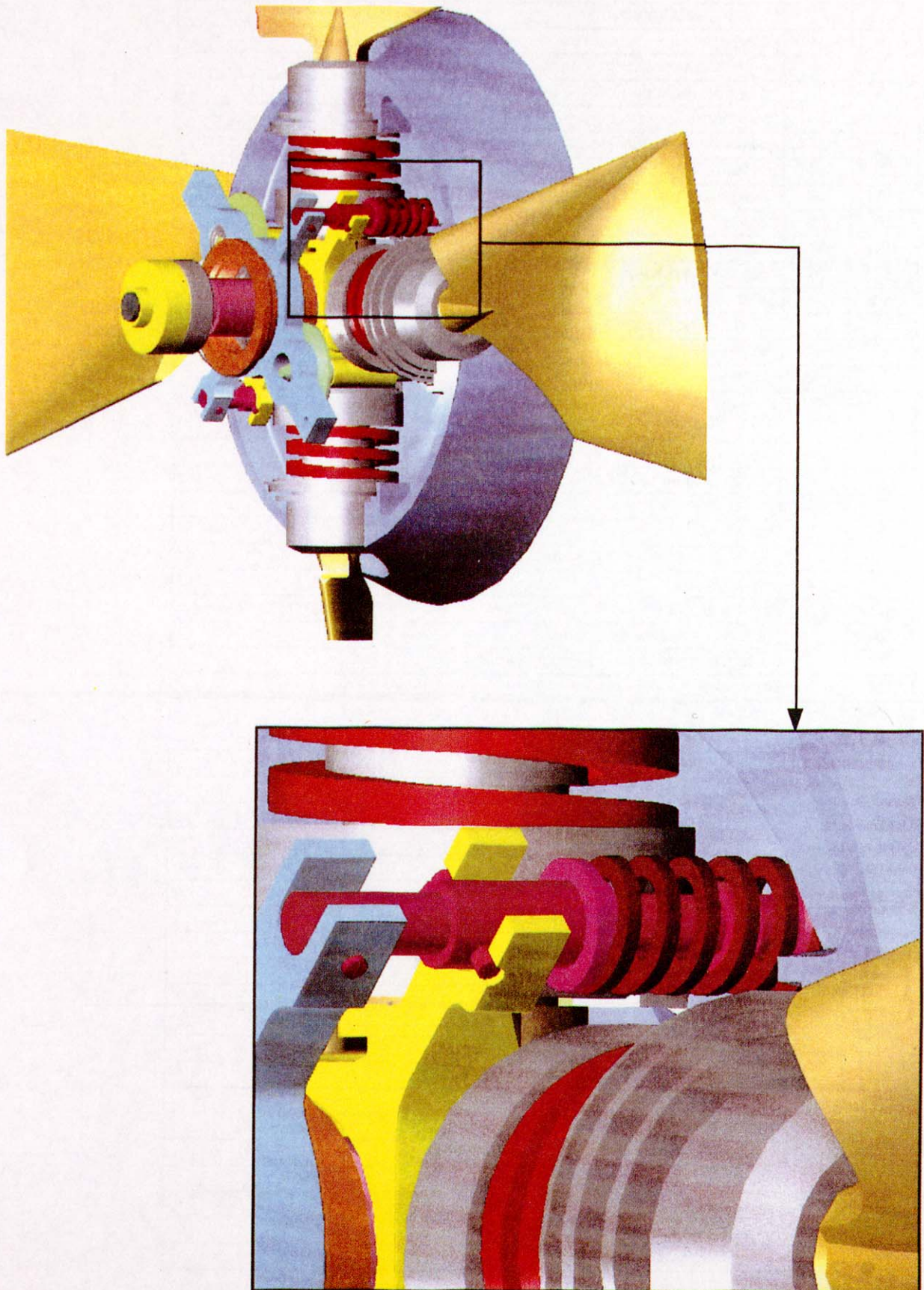
(limitée aux éléments utiles pour le sujet)

rep	nbre	désignation
1	1	casserole
2	1	fond de casserole
3	4	pale
4	4	bague d'étanchéité
5	4	boîtier de roulements
6	8	roulements
7	4	couvercle de boîtier de pale
8	4	butée
9	4	ressort raideur 100 N/mm, longueur à vide 48 mm
10	1	bornier
11	1	fusée
12	4	coupelle de ressort
13	4	galet
14	4	axe de galet (goupillé sur la masselotte)
15	4	masselotte
16	2	guide
17	4	manchon à cannelures hélicoïdales au pas de 140 mm, profil trapézoïdal à 15°, diamètre sur flanc 26,5 mm
18	1	arbre
19	4	vis de fixation de pale
20	1	roulement
21	2	roulement
22	2	vis à pas rapide, \varnothing 6,35 mm, pas 6,35 mm, à 4 filets
23	4	vis de fusée
25	1	bague de piston
26	2	ressort de retour drapeau
27	2	coupelle de ressort de retour drapeau
28	2	entretoise
29	2	goupille
30	2	piston de retour drapeau
31	2	goupille
32	2	combinateur
33	1	étoile
40	1	roulement
41	1	écrou à encoches
42	1	douille cannelée
43	1	bobine d'électrofrein
44	1	carcasse d'électrofrein
45	1	plateau
46	1	ressort de frein
47	1	disque de frein
50	4	roulements
51	2	cale
52	2	goupille
60	4	cale
61	4	joint torique
62	4	ergot

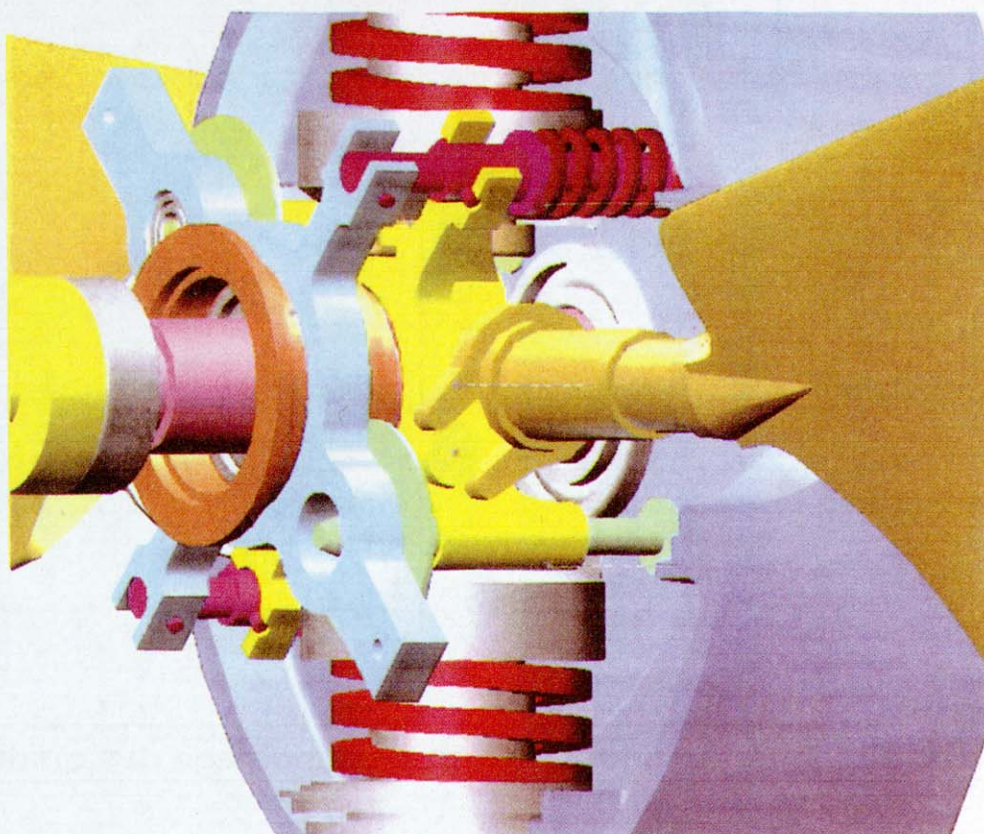
Masse totale
 d'un ensemble
 masselotte :
 215g
 Centre d'inertie :
 G

Document 5 : Modélisations 3D du mécanisme

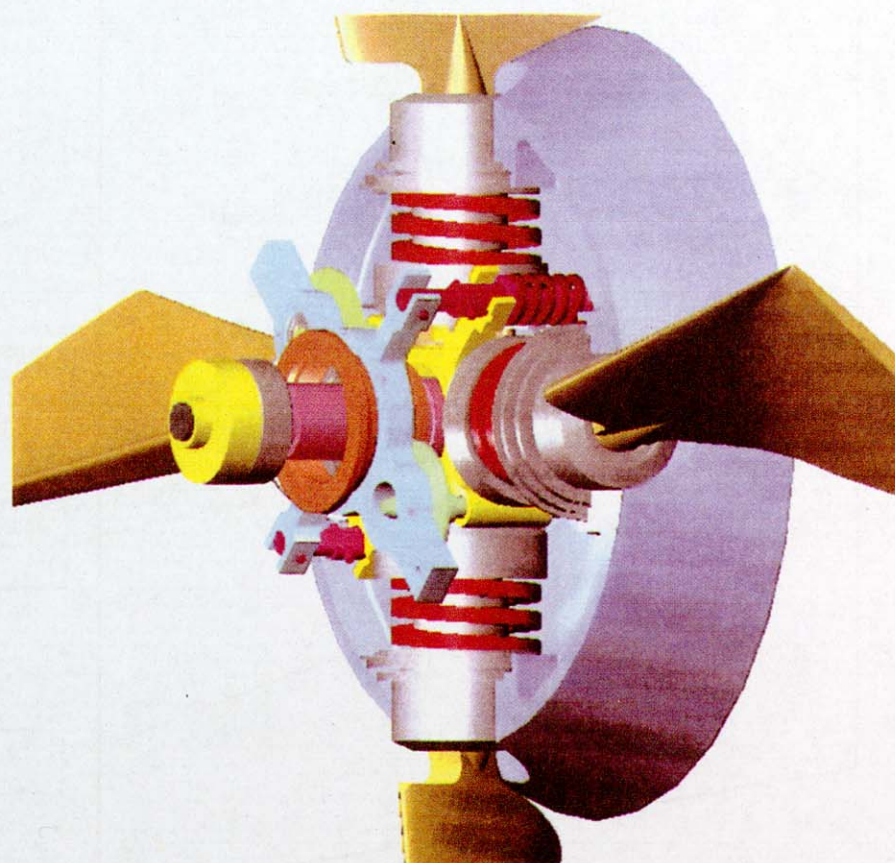
Vue d'ensemble (certaines pièces enlevées) + agrandissement :



Détail de la liaison pale - combineur (dispositif de régulation enlevé) :

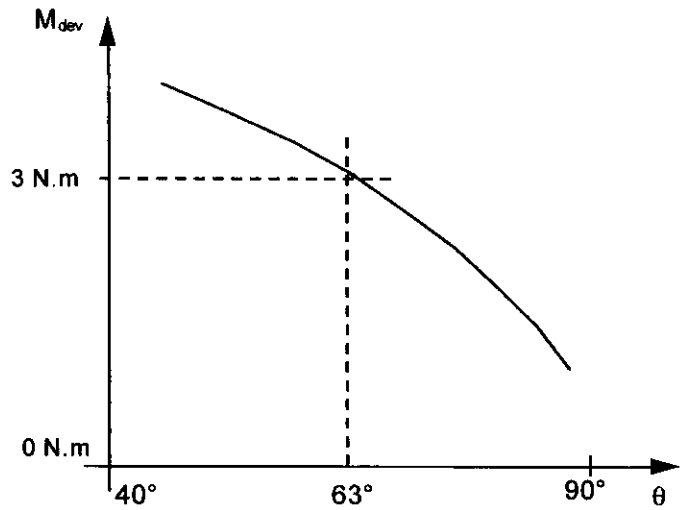
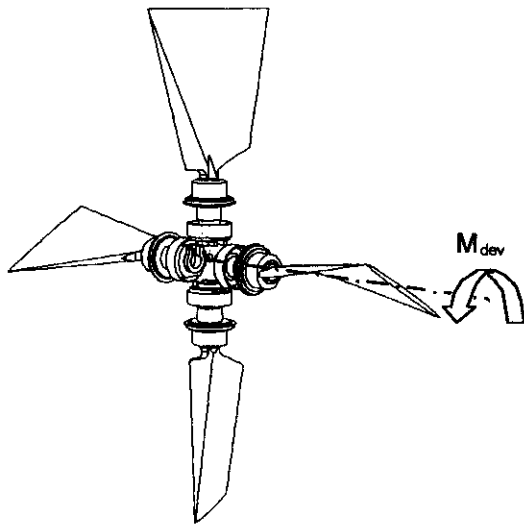


Vue d'ensemble (certaines pièces enlevées) dans une autre position :

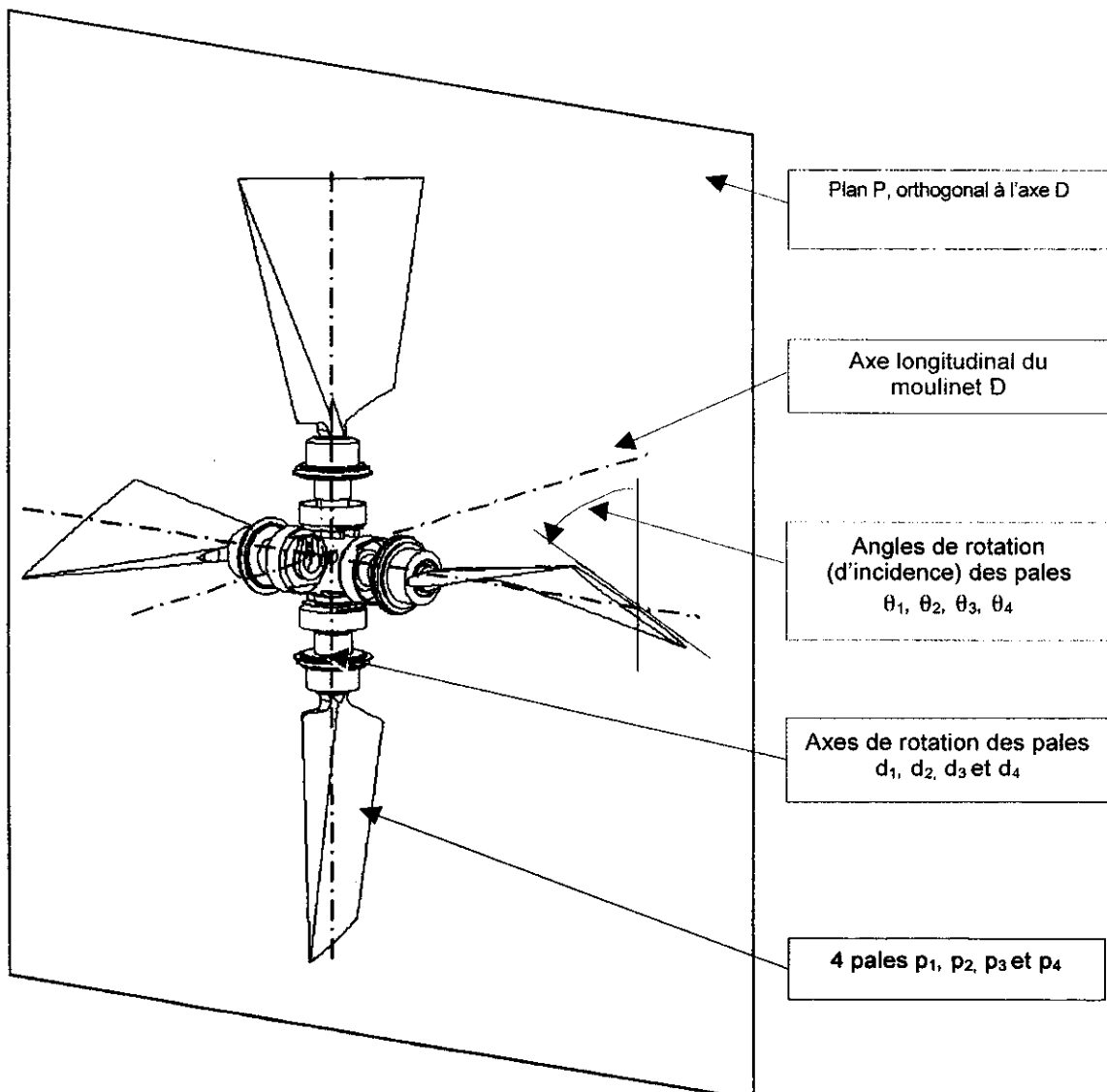


Document 6 : Moment de dévissage sur une pale

Ce moment correspond à la composante d'action mécanique de l'air sur une pale, tendant à modifier son angle d'incidence θ .

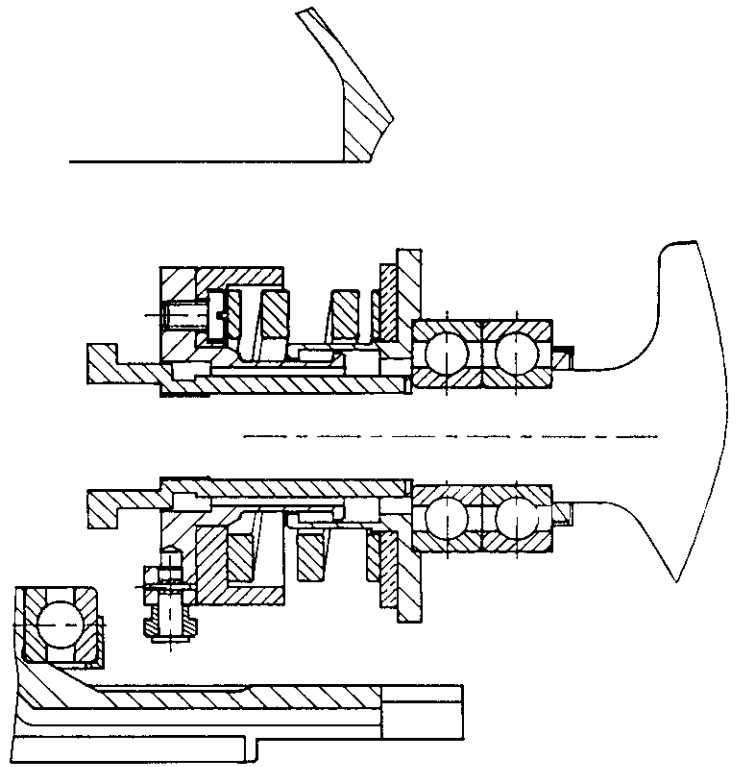


Document 7 : Paramétrage partiel de l'assemblage des quatre pales



DOCUMENTS-RÉPONSES

	Format
Document DR1a : Étude constructive du sous-ensemble régulateur	A3
Document DR1b : Étude constructive du sous-ensemble régulateur, suite	A3
Document DR2 : Tableau des phases de fonctionnement	A4
Document DR3 : Spécifications géométriques du fond de casserole	A3



DOCUMENT REPONSE DR1a
Echelle 1:1

Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
DOCUMENT REPONSE DR1b				

Etude constructive du sous-ensemble régulateur

Echelle 1:1

DOCUMENT RÉPONSE DR2
Tableau des phases de fonctionnement

Phase de fonctionnement	Croquis de la section C-C	Croquis de la coupe B-B
Phase de démarrage (retour drapeau)		
Phase de régulation		
Phase de mise en drapeau		

DOCUMENT RÉPONSE DR3
Spécifications géométriques du fond de casserole

Question 3-2 :

Question 3-1 :

