

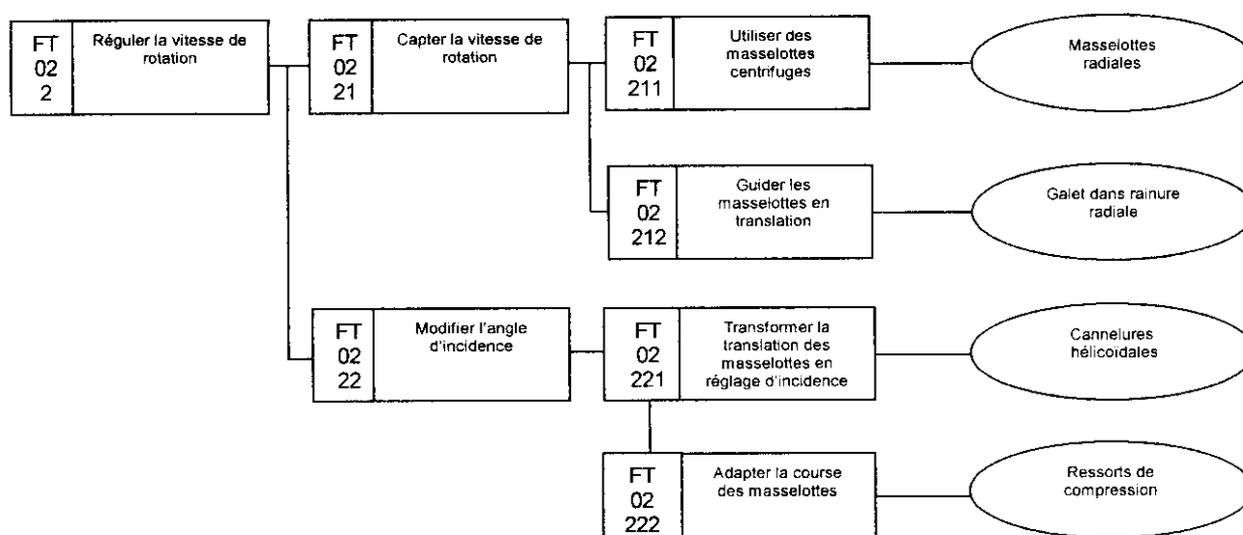
CORRECTION

1 – ANALYSE DE LA RÉGULATION (FT022)

Question 1-1 :

Établir le schéma cinématique en perspective du mécanisme de régulation.

Contexte fonctionnel :



Définition des sous-ensembles cinématiques :

Le mécanisme de régulation réalisant la fonction FT022 est composé des masselottes 15 qui, dans leur mouvement radial sous l'effet des forces d'inertie, équilibrées par l'action des ressorts 9, entraînent les pales 3 en rotation autour de leur axe. Il est composé, pour une pale 3 :

▪ des quatre sous-ensembles cinématiques :

Nom	Pièces	Repère associé
Fusée <u>11</u>	avion, 11, 23, ...	$(O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$
Casserole <u>1</u>	1, 2, 18, ...	$(O, \vec{X}, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$
Masselotte <u>15</u>	12, 13, 14, 15, ...	$(G, \vec{X}, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$
Pale <u>3</u>	3, 17, 19, ...	$(O, \vec{X}_3, \vec{Y}_3, \vec{Z}_1)$

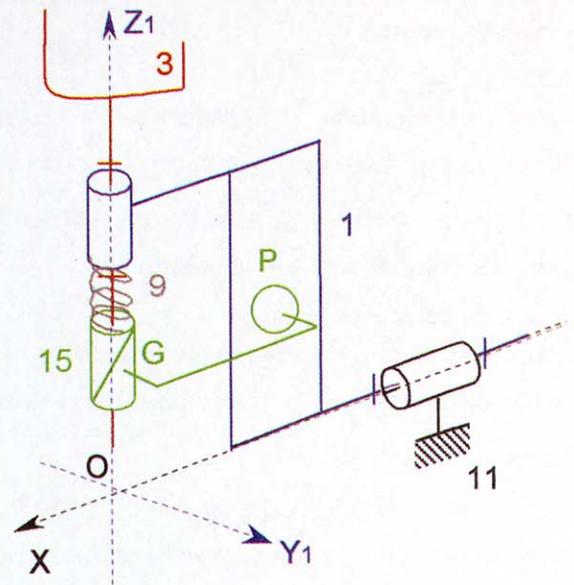
▪ du ressort de compression 9.

NB : Les sous-ensembles et liaisons réalisant la fonction FT03 (mise en drapeau et retour rapide) ne sont pas pris en compte ici, comme le demande l'énoncé, en particulier le combinateur 32. Cela se justifie par le fait que, lors de la phase de régulation, le combinateur 32 n'est pas sollicité par les ressorts 26. Voir coupe BB, document 5 et question 2-3 (document DR2). Ce combinateur 32 n'agit donc pas sur le mécanisme de régulation, malgré sa liaison ponctuelle avec la masselotte 15. Cette fonction FT03 sera étudiée plus loin.

Définition des liaisons et schéma cinématique :

Les contacts entre les quatre sous-ensembles cinématiques, permettent de modéliser leurs liaisons et donc d'élaborer le schéma cinématique demandé, pour une seule des quatre pales :

- Liaison casserole 1 - fusée 11 : pivot d'axe (O, \vec{X}) , réalisée à l'aide des roulements 20 et 40 + immobilisations axiales
- Liaison casserole 1 - pale 3 : pivot d'axe (O, \vec{Z}_1) , réalisée à l'aide des deux roulements 6 + immobilisations axiales
- Liaison casserole 1 - masselotte 15 : ponctuelle de normale (P, \vec{Y}_1) réalisée à l'aide du galet 13, en contact linéaire court selon une rainure radiale (parallèle à \vec{Z}_1) avec l'insert 16 logé dans le fond de casserole 2.
- Liaison masselotte 15 - pale 3 : hélicoïdale d'axe (O, \vec{Z}_1) , réalisée à l'aide de cannelures hélicoïdales à droite (Cf. coupe CC).

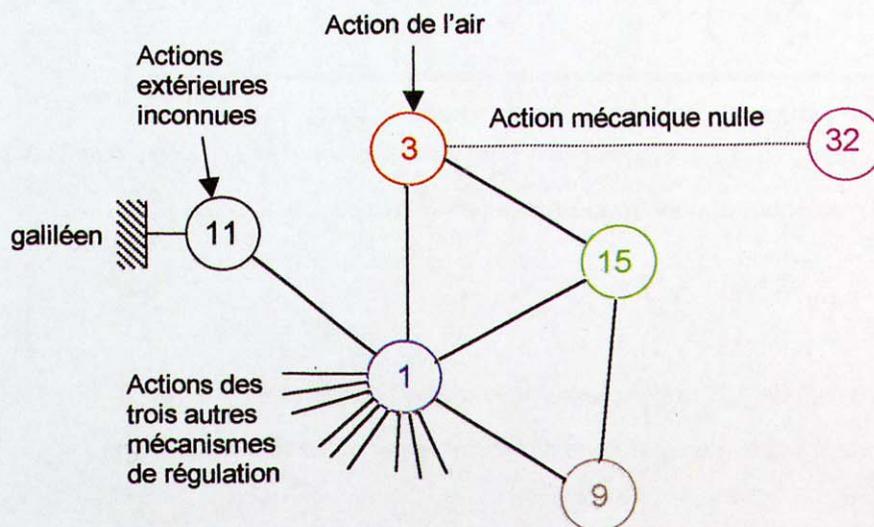


NB : Compte tenu de son caractère *déformable*, il est d'usage de ne pas représenter un ressort sur un schéma cinématique où les liaisons qui y figurent proviennent de modèles issus de la cinématique du solide *indéformable*. Néanmoins, il semble indispensable de placer ici le ressort 9 entre la masselotte 15 et la casserole 1, afin de bien traduire le fonctionnement de la 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.

Graphe de structure (actions de pesanteur non représentées) :



Le repère lié à 11 peut être supposé galiléen, lors du ravitaillement l'avion étant en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à la terre galiléenne.

Actions mécaniques sur la pale 3 :

- Action de pesanteur
- Action de l'air
- Action de la casserole 1 : transmise par une liaison pivot d'axe (O, \vec{Z}_1)
- Action de la masselotte 15 : transmise par une liaison hélicoïdale d'axe (O, \vec{Z}_1)
- Action du combinateur 32 nulle lors de la phase de régulation.

Actions mécaniques sur la masselotte 15 :

- Action de pesanteur
- Action de la pale 3 : transmise par une liaison hélicoïdale d'axe (O, \vec{Z}_1)
- Action de la casserole 1 : transmise par une liaison ponctuelle de normale (P, \vec{Y}_1)
- Action du ressort 9.

Déterminer alors quantitativement la caractéristique du bloc fonctionnel « effets dynamiques ».
Conclure quant au respect des performances exigées par le cahier des charges en termes de plage de régulation.

1) Modélisation des actions mécaniques et hypothèses :

Actions mécaniques sur la pale 3 :

- Action de pesanteur : modélisable par un glisseur de support fixe par rapport à 11, passant par le centre d'inertie de la pale, que l'on peut supposer sensiblement sur son axe (O, \vec{Z}_1) . Ainsi la pesanteur ne génère pas de moment autour de l'axe (O, \vec{Z}_1) :

$$F(\text{pes} \rightarrow 3) = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & L_{\text{pes}} \\ Y_{\text{pes}} & 0 \\ Z_{\text{pes}} & 0 \end{array} \right\}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

- Action de l'air : modélisable par un torseur a priori complet, dont le moment selon (O, \vec{Z}_1) est le moment de dévissage M_{dev} défini sur le document 6 :

$$F(\text{air} \rightarrow 3) = \left\{ \begin{array}{cc} X_{\text{air}} & L_{\text{air}} \\ Y_{\text{air}} & M_{\text{air}} \\ Z_{\text{air}} & M_{\text{dev}} \end{array} \right\}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

avec $M_{\text{dev}} \approx 3\text{Nm}$ autour du point de fonctionnement.

- Action de la casserole 1 : transmise par une liaison pivot d'axe (O, \vec{Z}_1) , que l'on peut supposer parfaite (roulements + graissage) et donc modélisable par un torseur de la forme :

$$F(\text{air} \rightarrow 3) = \left\{ \begin{array}{cc} X_{1-3} & L_{1-3} \\ Y_{1-3} & M_{1-3} \\ Z_{1-3} & 0 \end{array} \right\}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

- Action de la masselotte 15 : transmise par une liaison hélicoïdale d'axe (O, \vec{Z}_1) , que l'on peut supposer parfaite (pas très important + graissage) et donc modélisable par un torseur de la forme :

$$F(15 \rightarrow 3) = \left\{ \begin{array}{cc} X_{15-3} & L_{15-3} \\ Y_{15-3} & M_{15-3} \\ Z_{15-3} & M_{15-3} \end{array} \right\}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

avec, puisque la liaison est supposée parfaite, $M_{15-3} = -p Z_{15-3}$, où p est le pas des cannelures (140 mm/tr).

Actions mécaniques sur la masselotte 15 :

- Action de pesanteur : négligeable, compte tenu de la masse faible (215g) de la masselotte.

- Action de la pale 3 : opposée à l'action précédemment modélisée :

$$F(3 \rightarrow 15) = \begin{Bmatrix} -X_{15-3} & -L_{15-3} \\ -Y_{15-3} & -M_{15-3} \\ -Z_{15-3} & -M_{15-3} \end{Bmatrix}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

- Action de la casserole 1 : transmise par une liaison ponctuelle de normale (P, \vec{Y}_1), que l'on peut supposer parfaite (réalisation par galet + graissage) et donc modélisable par un torseur de la forme :

$$F(1 \rightarrow 15) = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1-15} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{P, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1}$$

- Action du ressort : modélisable par un glisseur de support (O, \vec{Z}_1), dont la résultante dépend de la position de la masselotte et est dirigée selon $-\vec{Z}_1$ (ressort de compression) :

$$F(\text{res} \rightarrow 15) = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ R & 0 \end{Bmatrix}_{O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1} \quad \text{avec } R = k(L - L_0)$$

où :

$k = 100 \text{ N/mm}$ est la raideur du ressort

$L_0 = 48 \text{ mm}$ est la longueur à vide du ressort

L est la longueur variable du ressort qui vaut 29 mm (mesurée sur le dessin d'ensemble) au point de fonctionnement

2) Principe fondamental de la dynamique à la pale 3 :

Équation de moment selon (O, \vec{Z}_1) :

$$M_{\text{dev}} + M_{15-3} = 0, \text{ si on néglige les effets dynamiques sur la pale, certainement de faible inertie.}$$

3) Principe fondamental de la dynamique appliqué à la masselotte 15 :

Équation de résultante selon \vec{Z}_1 :

$$-Z_{15-3} - R = -m r \omega^2$$

où :

m est la masse de la masselotte, $m = 215\text{g}$,

ω est la vitesse (pulsation) de rotation du moulinet par rapport à l'avion,

r est la distance OG entre le centre d'inertie de la masselotte et l'axe (O, \vec{X}).

4) Résolution :

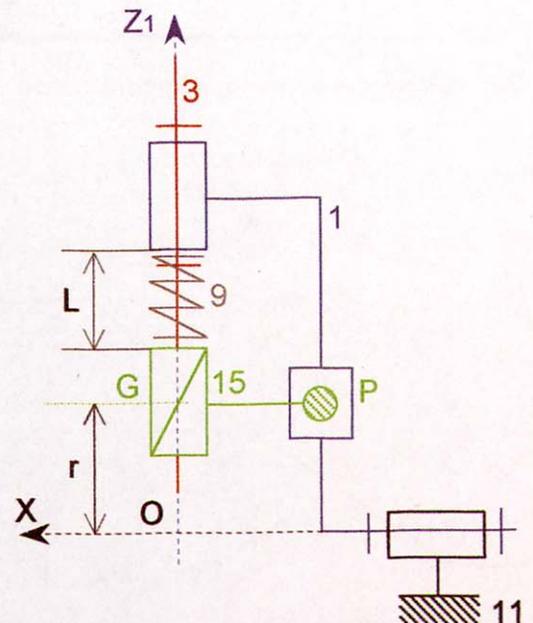
On dispose donc des équations :

$$M_{15-3} = -p Z_{15-3}$$

$$M_{\text{dev}} + M_{15-3} = 0$$

$$-Z_{15-3} + R = -m r \omega^2$$

$$R = k(L - L_0)$$



à partir desquelles on peut extraire : $m r \omega^2 = \frac{M_{dev}}{p} + k(L_0 - L)$

Autour du point de fonctionnement : $k(L - L_0) \approx 100 \cdot (48 - 29) = 1900 \text{ N}$

$$\frac{M_{dev}}{p} \approx \frac{3.2\pi}{140 \cdot 10^{-3}} \approx 135 \text{ N, soit seulement 7% du premier.}$$

on pourra donc, afin d'alléger les développements, négliger la variation d'angle d'incidence due au moment de dévissage devant celle due au déplacement de la masselotte. D'où finalement la relation retenue, compte tenu de toutes les hypothèses simplificatrices annoncées :

$$m r \omega^2 = k(L_0 - L)$$

5) Vitesse de régulation :

Au point de fonctionnement, on mesure sur le plan $r = 51 \text{ mm}$.

$$\text{La vitesse de régulation est donc } \omega = \sqrt{\frac{k(L_0 - L)}{m r}} = \sqrt{\frac{1900}{0,215 \times 51 \cdot 10^{-3}}} \approx 4163 \text{ rad/s} \approx 3975 \text{ tr/mn}$$

ce qui valide la valeur imposée par le cahier des charges (4000 tr/mn).

6) Plage de régulation :

Le cahier des charges impose une flexibilité maxi de $\pm 10\%$ de cette vitesse de régulation, soit donc $\omega \in [3600 \text{ tr/mn}; 4400 \text{ tr/mn}]$. On mesure sur le dessin d'ensemble une course de l'ordre de $\pm 7 \text{ mm}$ pour la masselotte (définie par les butées de 15 sur 7 au niveau de l'assemblage par baïonnette).

Lorsque la masselotte est en position basse, on a donc :

$$r = 51 - 7 = 44 \text{ mm}$$

$$L = 29 + 7 = 36 \text{ mm}$$

$$\text{La vitesse correspondante est donc : } \omega = \sqrt{\frac{100 \times (48 - 36)}{0,215 \times 44 \cdot 10^{-3}}} \approx 3562 \text{ rad/s} \approx 3400 \text{ tr/mn } (-15\% / 4000)$$

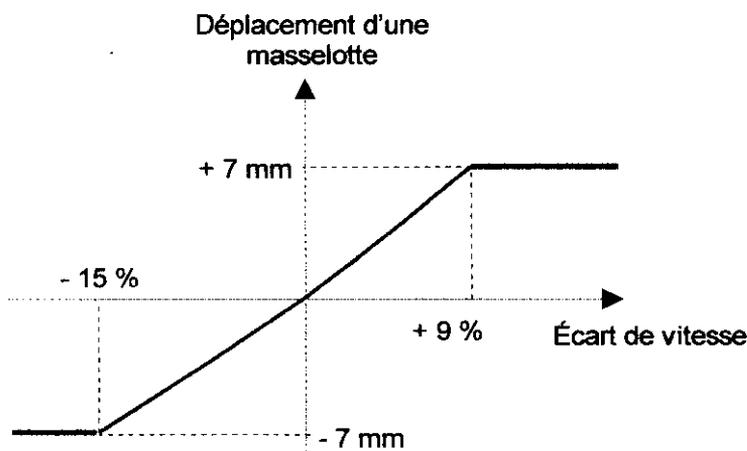
De même, lorsque la masselotte est en position haute :

$$r = 51 + 7 = 58 \text{ mm}$$

$$L = 29 - 7 = 22 \text{ mm}$$

$$\text{La vitesse correspondante est donc : } \omega = \sqrt{\frac{100 \times (48 - 22)}{0,215 \times 58 \cdot 10^{-3}}} \approx 4566 \text{ rad/s} \approx 4360 \text{ tr/mn } (+9\% / 4000)$$

7) Caractéristique demandée et conclusion :



On constate donc une bonne conformité avec le cahier des charges en position haute (+9%), par contre une vitesse un peu faible en position basse (-15%). Ceci peut s'expliquer par les différentes simplifications opérées, et la mesure de la course sur le plan, certainement imprécise.

NB : caractéristique non linéaire.

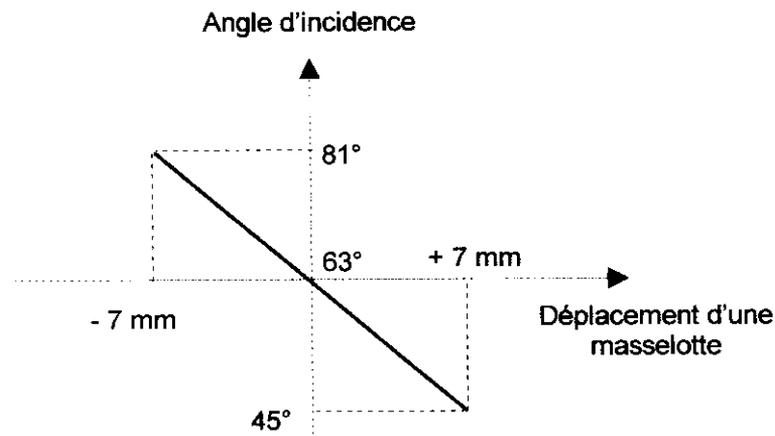
Question 1-3 :

✎ 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.

On a vu précédemment que la course de la masselotte est de l'ordre de ± 7 mm, le pas de la liaison hélicoïdale étant $p = 140$ mm, cela provoque une variation de l'angle d'incidence des pales de :

$$\Delta\theta = \pm 7 \frac{360}{140} = \pm 18^\circ.$$

D'où la caractéristique demandée :



NB : on vérifie que la position drapeau (incidence de 90°) est en dehors de la plage de régulation.

La lecture de ces deux caractéristiques permet de « retrouver » le fonctionnement de la régulation : une augmentation de la vitesse de rotation provoque, dans la plage de régulation, un déplacement radial positif, ce qui diminue l'angle d'incidence. Cette diminution de l'angle d'incidence ralentit le moulinet.

Question 1-4 :

✎ Établir un dessin à main levée (mode de représentation au choix) de l'insert 16 en spécifiant en légende le rôle fonctionnel de chacune des surfaces contribuant à la fonction globale.

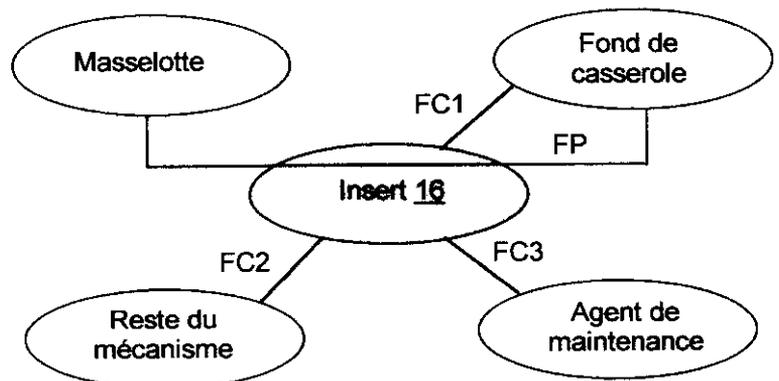
Analyse des fonctions à remplir par l'insert :

FP : guider la masselotte selon une translation verticale (FT02212).

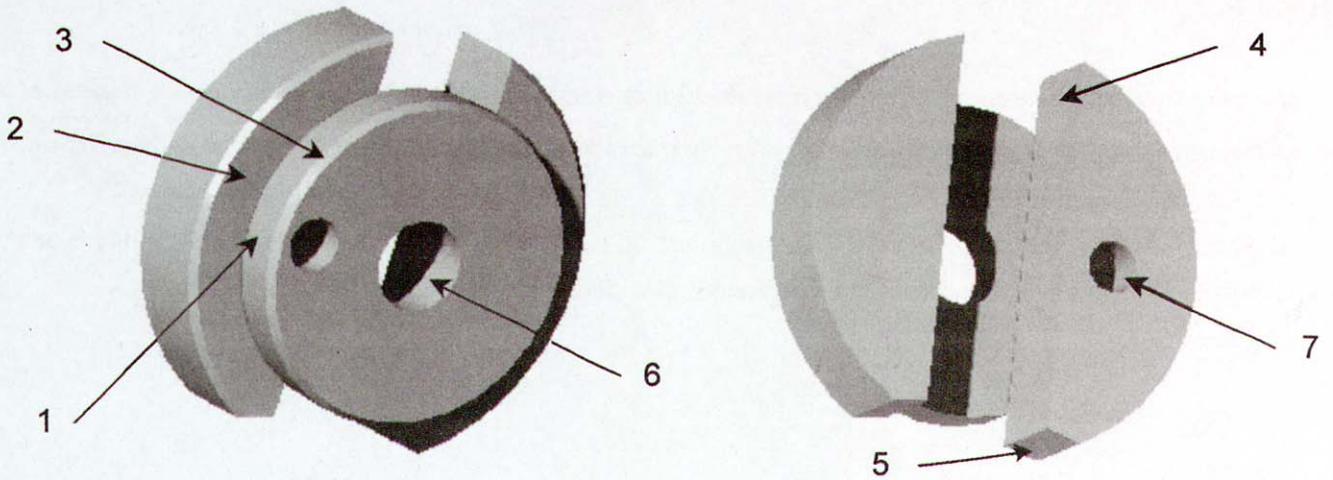
FC1 : être immobilisé par rapport au fond de casserole

FC2 : ne pas interférer avec d'autres pièces

FC3 : pouvoir recevoir un outil d'extraction



L'analyse de ces fonctions et des éléments géométriques relevés sur le dessin d'ensemble permet de proposer la géométrie suivante pour l'insert 16 :

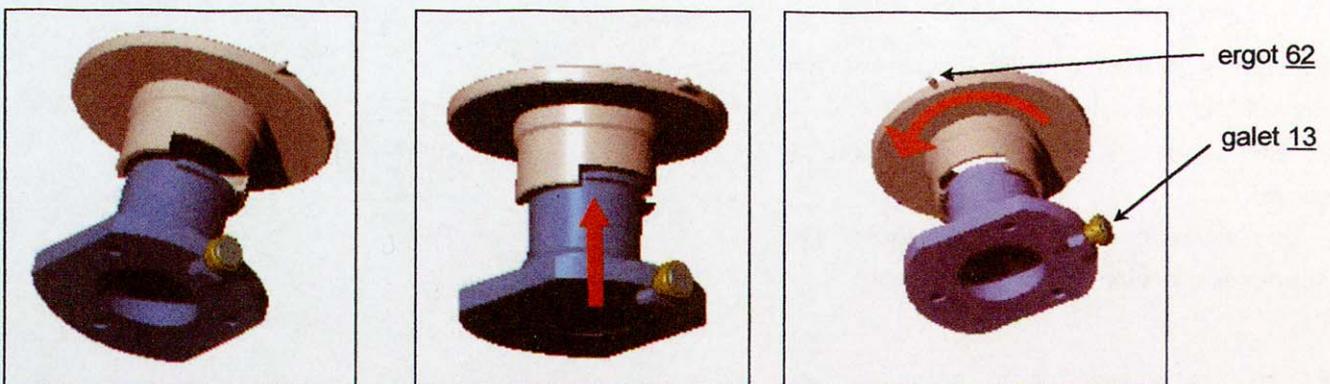


- 1- bossage massif ajusté serré (H7p6) ou collé (colle type "loctite 645") dans le fond de casserole 2 (FC1).
- 2- plan d'arrêt axial sur le fond de casserole (FC1).
- 3- chanfrein obligatoire pour le montage de l'insert (FC1).
- 4- rainure fraisée avec une fraise trois tailles expansible pour une planéité convenable des flancs (FP).
- 5- dégagement cylindrique pour éviter l'interférence avec le roulement 20 (FC2).
- 6- taraudage M8 pour extraction de l'insert si nécessité de démontage de celui-ci (FC3).
- 7- alésage optionnel de 4H8 pour orienter l'insert au montage avec un pied de positionnement. Le fonctionnement (FP) ne nécessitant pas une orientation radiale très précise de la rainure, on peut se dispenser de cette forme (surtout dans le cas du collage).

Question 1-5 :

Préciser la nature et la structure de la solution constructive retenue pour la précharge du ressort 9 (en vous aidant de croquis par exemple) et indiquer ce qui garantit, en phase de fonctionnement, l'indémontabilité de cet assemblage.

La précharge du ressort est assurée par le montage en baïonnette de la masselotte 15 dans le couvercle 7. Voir coupe DD. Ce montage s'obtient par une rotation d'environ 90° de la masselotte 15. Hors fonctionnement, celle-ci se trouve en butée basse sur le couvercle 7, position définissant la précharge du ressort. La valeur de cette précharge est ajustée par la cale 8.



1^{ère} étape : aligner les ergots de 15 avec les encoches de 7.

2^{ème} étape : emboîter les deux pièces en comprimant le ressort 9.

3^{ème} étape : déphaser les deux pièces de 90° autour de leur axe.

L'indémontabilité de cet assemblage est obtenue en fonctionnement par :

- Le contact ponctuel du galet 13 dans l'insert 16, assurant l'absence de rotation de la masselotte 15 par rapport à la casserole 1. Cette fonction est par ailleurs nécessaire à la transformation de mouvement du mécanisme de régulation, voir questions précédentes (FT02212).
- La présence de l'ergot 62 qui verrouille la rotation du couvercle 7 par rapport à la casserole 1.

Question 1-6 :

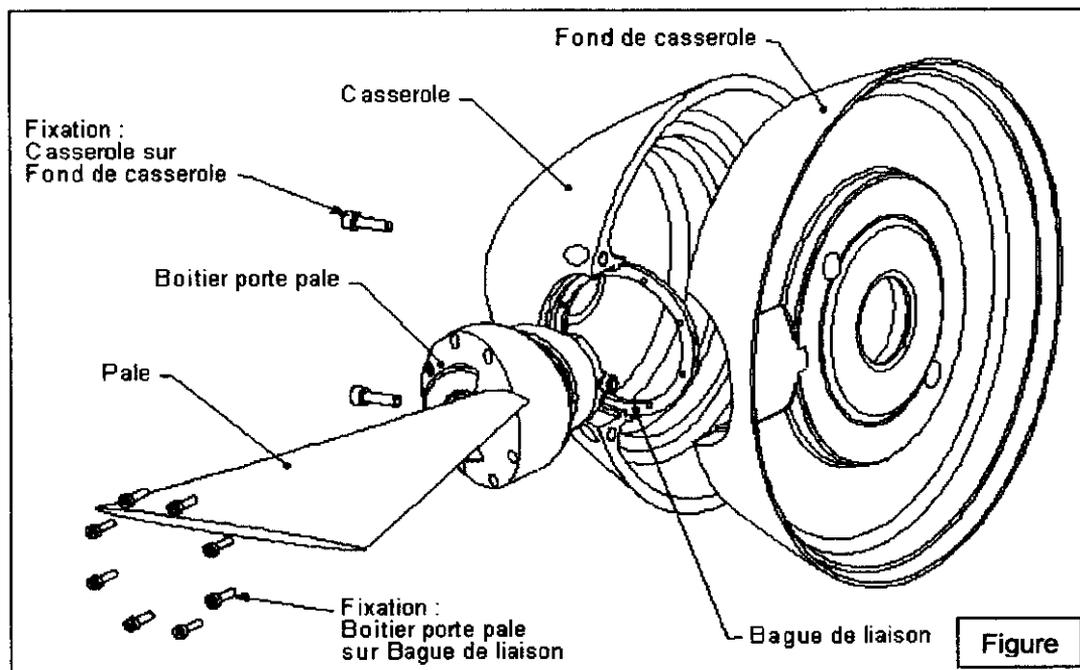
Avant-projet de modifications

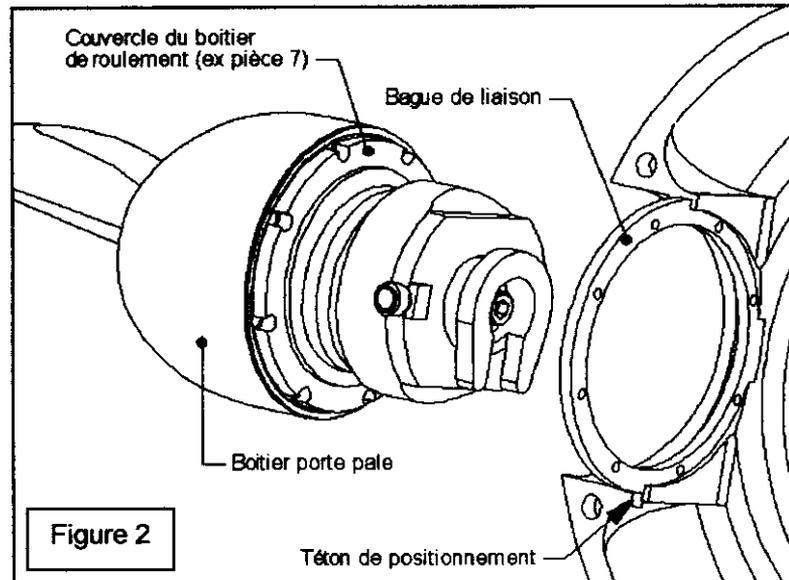
Cet avant projet devait faire des propositions dans trois directions:

- limitation de la détérioration locale au contact entre roulements à billes et queue de pale,
- modification de la liaison entre la pale et le manchon à cannelures hélicoïdales pour supprimer le risque de détérioration des dentelures en alliage léger,
- intégration du bloc régulateur-pale dans un boîtier démontable.

La recherche d'intégration du sous-ensemble dans un boîtier imposait de rechercher les diverses conditions fonctionnelles à respecter et de proposer des modifications de solutions constructives et de formes géométriques, dans la casserole et le fond de casserole, difficiles à appréhender du fait d'une géométrie particulière de ces deux pièces. Une représentation 3D n'étant pas accessible dans cette phase de travail, des épures ou des vues auxiliaires étaient quasi indispensables pour vérifier l'existence ou l'absence de matière dans de nombreuses zones.

Les images 3D ci-après, figures 1 et 2, permettent d'appréhender, pour une proposition de solution, les modifications techniques et géométriques imposées par la mise en boîtier démontable.





Pour ce qui concerne les détériorations de contact il était possible de rechercher des solutions en explorant deux pistes :

- traitement séparé des problèmes dans chacune des zones (roulement d'une part et dentelures d'autre part),
- recherche d'une solution intégrant une pièce commune en acier.

Si dans les deux cas il s'agissait d'interposer une bague en acier entre roulement et pale, la seconde solution explorée avec succès par quelques candidats, conduisait, en recherchant un couple de dentelures acier-acier à imaginer un nouveau mode de liaison en rotation entre la pièce rapportée et la queue de la pale. Dans les deux cas la limitation des masses était à prendre en compte ainsi que la facilité de montage.

La proposition ci-après, qui relève du premier type de solution, vaut par sa simplicité. Le coût du manchon hélicoïdal, faiblement majoré ne posant pas un problème clé en avionique militaire, la fiabilité et la disponibilité étant prépondérantes.

On observe dans la solution proposée, l'utilisation d'une bague intermédiaire entre roulement et queue de la pale (figure 3) et, pour l'entraînement en rotation la réalisation d'un profil de type « polygon » (figure 4).

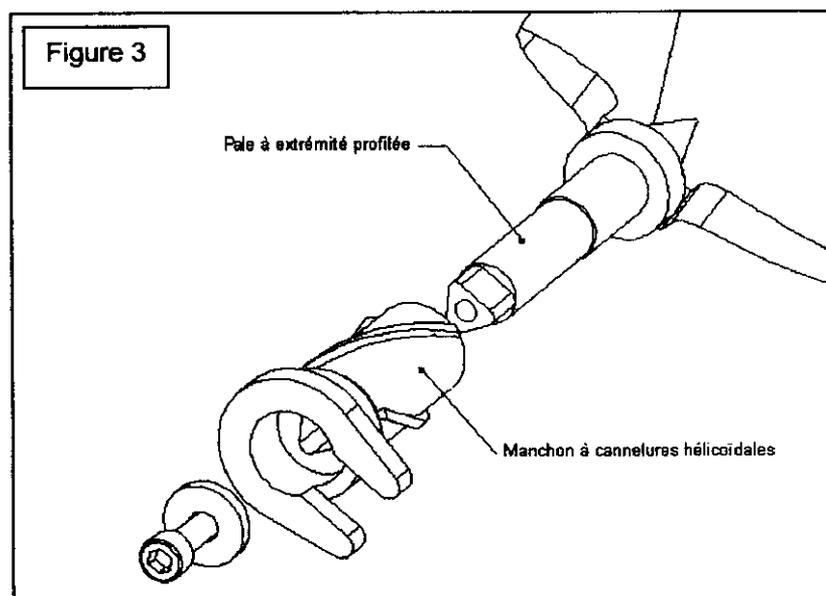


Figure 4

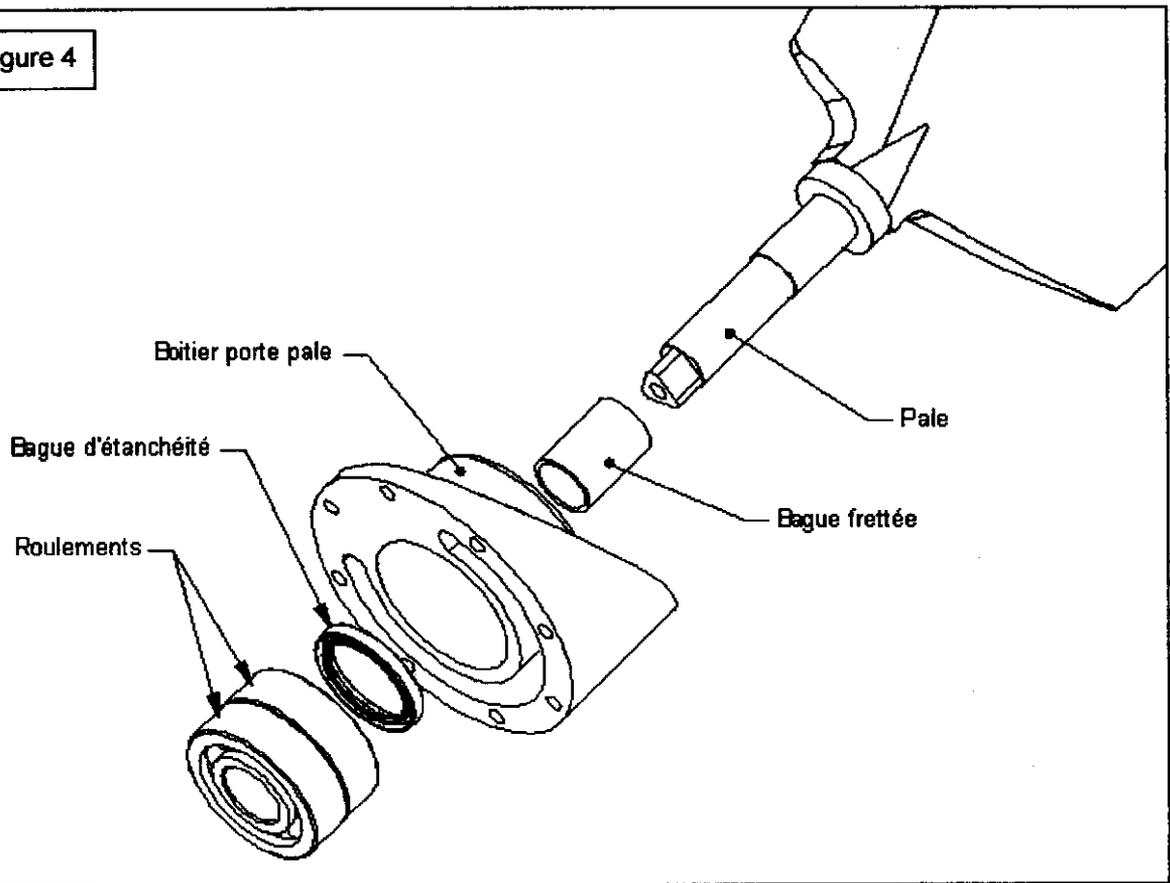
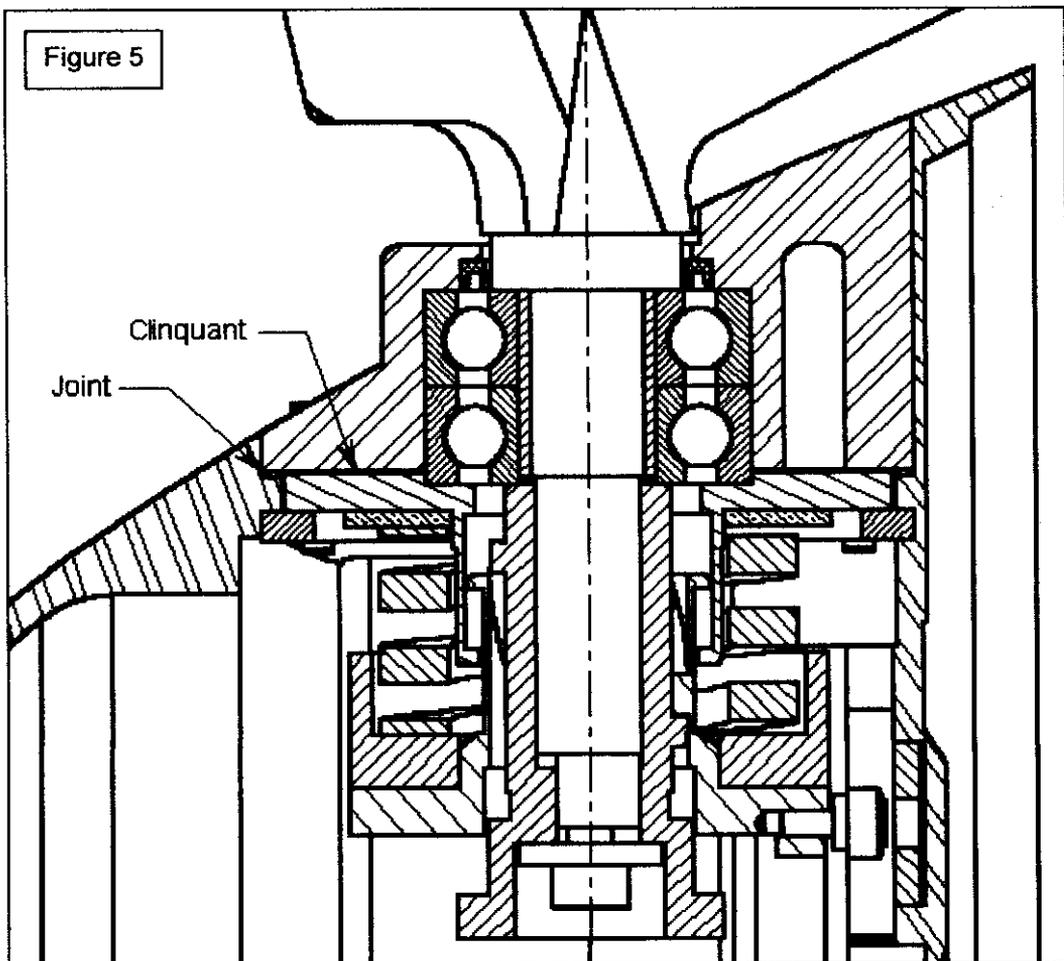


Figure 5



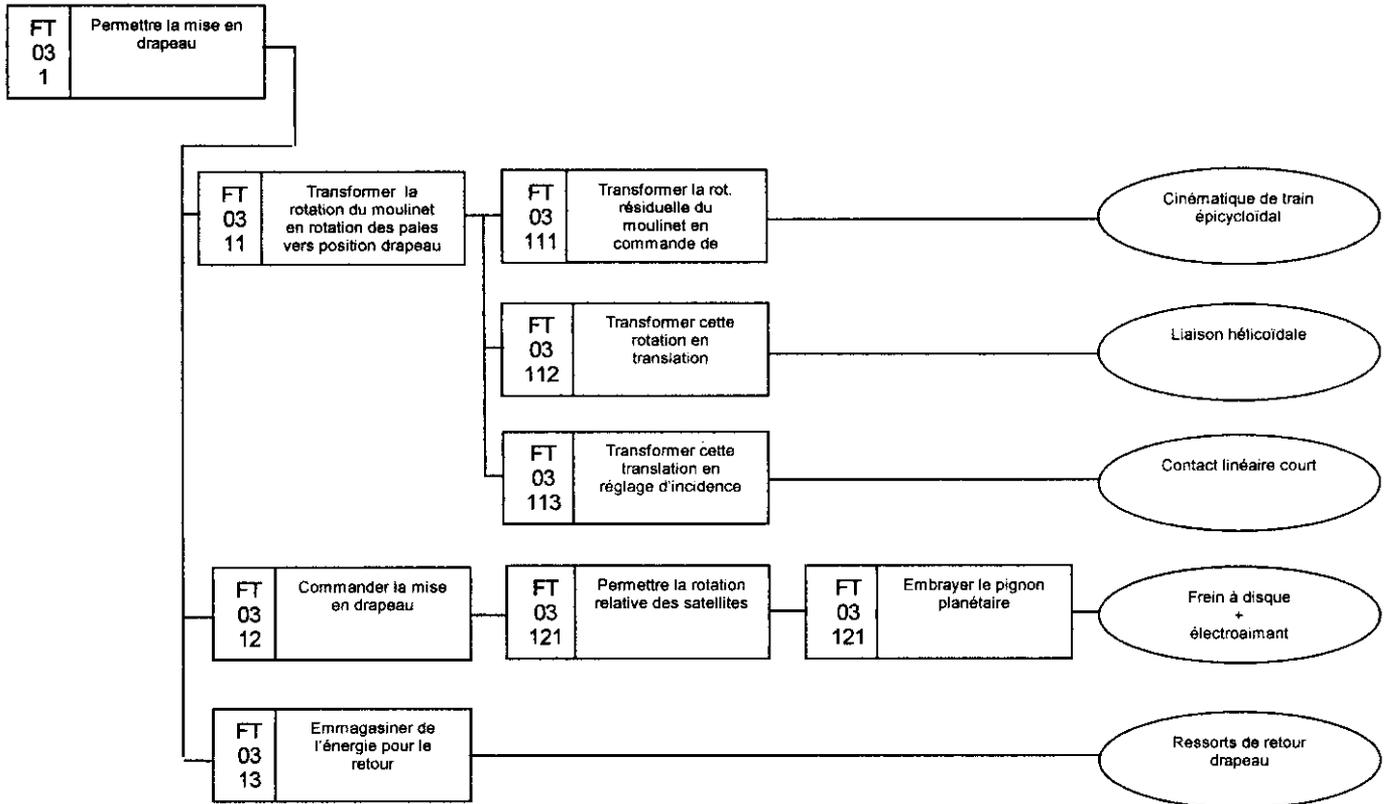
2 – ANALYSE DES PHASES D'ARRET (FT031) ET DE REDÉMARRAGE (FT032)

2-1 Phase d'arrêt : mise en drapeau

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.*

Contexte fonctionnel :



Définition des sous-ensembles cinématiques :

Le mécanisme réalisant la fonction FT031 de mise en drapeau des pales se compose, pour une pale 3 :

- des cinq sous-ensembles cinématiques :

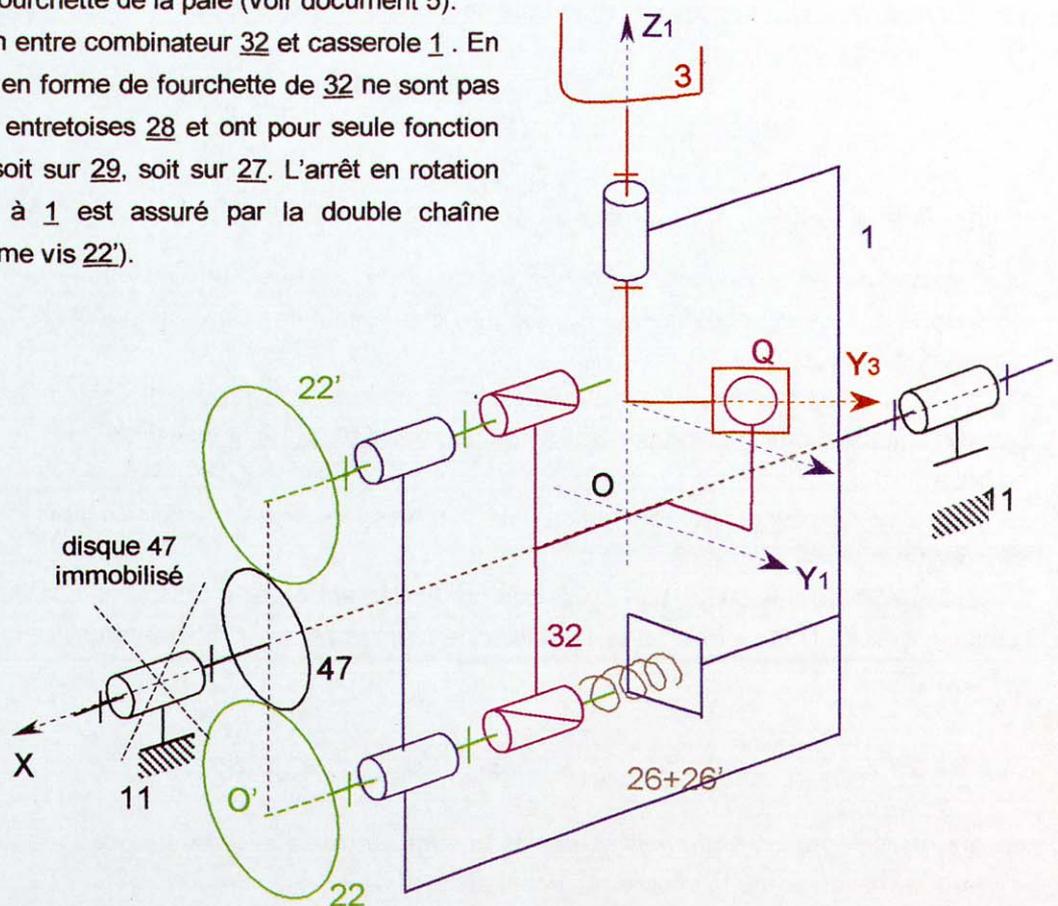
Nom	Pièces	Repère associé
Fusée 11	avion, 11, 23, ...	$(O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$
Disque 47	47, pignon associé...	
Casserole 1	1, 2, 18, 30, 33...	$(O, \vec{X}, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$
Vis 22	22, roue associée...	$(O', \vec{X}, \vec{Y}_{22}, \vec{Z}_{22})$
Combinateur 32	32, galet, ...	$(Q, \vec{X}, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$
Pale 3	3, 17, 19, ...	$(O, \vec{X}_3, \vec{Y}_3, \vec{Z}_1)$

- du ressort de compression 26.
- du frein dont l'alimentation est coupée lors de la mise en drapeau (FT031211), ce qui a pour effet de freiner le disque 47, qui peut être considéré comme solidaire de la fusée 11, ce qui a été pris en compte dans la définition des sous-ensembles cinématiques établie dans le tableau ci-dessus.

Définition des liaisons et schéma cinématique :

Les contacts entre les sous-ensembles cinématiques, permettent de modéliser leurs liaisons et donc d'élaborer le schéma cinématique demandé, pour une seule des quatre pales :

- Liaisons casserole 1 - fusée 11 et casserole 1 - pale 3 définies à la question 1-1.
- Liaison disque 47 - fusée 11 : encastrement temporaire par action du frein.
- Liaison vis 22 - disque 47 : engrenage cylindrique de direction \vec{X} .
- Liaison vis 22 - casserole 1 : pivot d'axe (O, \vec{X}) , réalisée à l'aide des roulements 50 et 21 + immobilisations axiales.
- Liaison vis 22 - combineur 32 : hélicoïdale d'axe (O, \vec{X}) , réalisée par un assemblage cylindrique dans un coussinet, coaxial avec un assemblage vis-écrou.
- Liaison combineur 32 - pale 3 : ponctuelle de normale (Q, \vec{X}_3) , réalisée à l'aide d'un galet, en contact linéaire court avec l'extrémité en fourchette de la pale (voir document 5).
- Il n'y a pas de liaison entre combineur 32 et casserole 1. En effet, les extrémités en forme de fourchette de 32 ne sont pas en contact avec les entretoises 28 et ont pour seule fonction de venir en butée, soit sur 29, soit sur 27. L'arrêt en rotation de 32 par rapport à 1 est assuré par la double chaîne cinématique (deuxième vis 22').



NB : Même remarque qu'à la question 1-1 concernant la présence des ressorts sur ce schéma cinématique.

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.

Lors de cette phase de mise en drapeau, la casserole 1 constitue le porte-satellite d'un train épicycloïdal (FT03111), dont la roue de la vis 22 est le satellite et le pignon du disque 47 le planétaire, fixe par rapport au bâti 11 (FT031211).

La rotation du moulinet, c'est-à-dire de la casserole 1, permet la rotation de la vis 22 par rapport à la casserole 1, mouvement transformé en translation du combinateur 32, toujours par rapport à la casserole 1 (FT03112). Cette translation engendre :

- grâce à la liaison ponctuelle en Q, la rotation des pales 3, augmentant leur incidence vers la position drapeau (FT03113),
- la compression des ressorts 26 qui accumulent de l'énergie potentielle pour le retour (FT0313).

Une fois le combinateur 32 en butée, la mobilité de l'ensemble est nulle, puisque la rotation propre du satellite du train épicycloïdal est impossible, il y a glissement au niveau du frein, jusqu'à ce que le moulinet ne tourne plus.

D'un point de vue énergétique, cet ensemble de transformations de mouvements peut être traduit par le théorème de l'énergie cinétique, qui, appliqué à l'ensemble en mouvement par rapport à l'avion galiléen, s'écrit :

$$\frac{dT(\text{moulinet/ avion})}{dt} = P_{\text{ext}} + P_{\text{int}}$$

Où :

- $T(\text{moulinet/ avion}) = \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega^2$ est l'énergie cinétique de l'ensemble du moulinet en mouvement .

$J_{\text{éq}}$ étant l'inertie équivalente, ramenée sur l'axe du moulinet, de l'ensemble des pièces en mouvement (casserole 1, pales 3, combinateur 32, vis 22), dont les paramètres cinématiques sont linéairement liés à la vitesse ω du moulinet.

- P_{ext} est la puissance développée par les actions extérieures au système. Il s'agit de la somme de la puissance aérodynamique fournie par l'action de l'air sur les pales ($P_{\text{aéro}}$) et la puissance fournie à la pompe accouplée à l'arbre 18 ($- P_{\text{pompe}}$).

La puissance aérodynamique est rapidement décroissante, jusqu'à devenir nulle dans la position drapeau où le moulinet n'est plus entraîné.

- P_{int} est la somme des puissances dissipées par frottement dans le frein ainsi que dans une moindre mesure dans les liaisons ($- P_{\text{frein}} - P_{\text{frott}}$) et de la puissance fournie aux ressorts 26 et transformée en énergie potentielle ($- P_{\text{ressorts}}$).

Soit :

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega^2 \right] = P_{\text{aéro}} - P_{\text{pompe}} - P_{\text{frein}} - P_{\text{frott}} - P_{\text{ressorts}}$$

Ou encore, par intégration entre les instants de la commande de mise en drapeau, où la vitesse du moulinet est ω_i , et d'arrêt du moulinet, où la vitesse du moulinet est nulle:

$$0 - \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_i^2 = W_{\text{aéro}} - W_{\text{pompe}} - W_{\text{frein}} - W_{\text{frott}} - W_{\text{ressorts}}$$

en notant W le travail fourni entre les deux instants considérés par la puissance P correspondante.

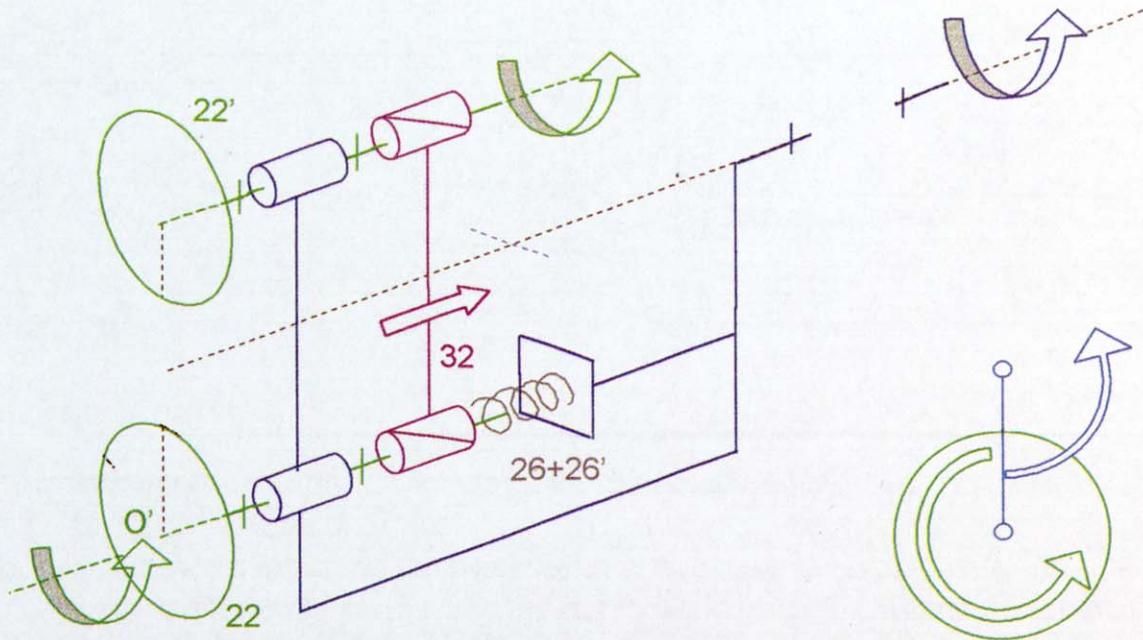
Relation que l'on peut encore écrire :

$$\frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_i^2 + \underbrace{W_{\text{aéro}} = W_{\text{pompe}} + W_{\text{frott}} + W_{\text{frein}} + W_{\text{ressorts}}}_{\text{valeurs faibles s'équilibrant sensiblement}}$$

Définition des liaisons et schéma cinématique :

Les contacts entre les sous-ensembles cinématiques, permettent de modéliser leurs liaisons et donc d'élaborer le schéma cinématique demandé, pour une seule des quatre pales :

- Liaisons casserole 1 - fusée 11 et casserole 1 - pale 3 définies à la question 1-1.
- Liaison disque 47 - fusée 11 : encastrement temporaire par action du frein.
- Liaison vis 22 - disque 47 : engrenage cylindrique de direction \vec{X} .
- Liaison vis 22 - casserole 1 : pivot d'axe (O, \vec{X}) , réalisée à l'aide des roulements 50 et 21 + immobilisations axiales.
- Liaison vis 22 - combineur 32 : hélicoïdale d'axe (O, \vec{X}) , réalisée par un assemblage cylindrique dans un coussinet, coaxial avec un assemblage vis-écrou.
- Liaison combineur 32 - pale 3 : ponctuelle de normale (Q, \vec{X}_3) , réalisée à l'aide d'un galet, en contact linéaire court avec l'extrémité en fourchette de la pale (voir document 5).
- Il n'y a pas de liaison entre combineur 32 et casserole 1. En effet, les extrémités en forme de fourchette de 32 ne sont pas en contact avec les entretoises 28 et ont pour seule fonction de venir en butée, soit sur 29, soit sur 27. L'arrêt en rotation de 32 par rapport à 1 est assuré par la double chaîne cinématique (deuxième vis 22').



NB : Même remarque qu'à la question 1-1 concernant la présence des ressorts sur ce schéma cinématique.

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.

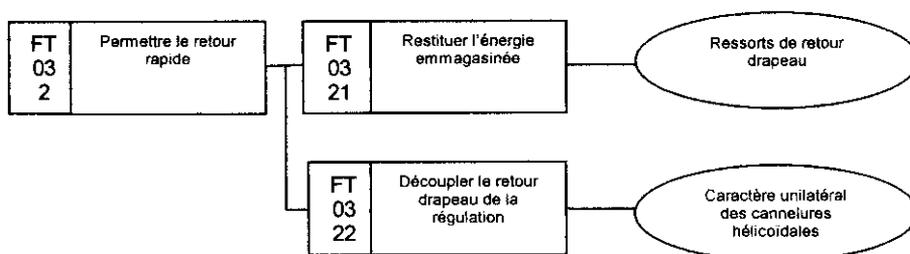
✍ À partir d'une analyse des mobilités du combineur par rapport au fond de casserole, indiquer les conditions de fonctionnement qui régissent les relations de contact entre vis et coussinet d'une part, et entre vis et combineur d'autre part.

On a vu (question 2-1-1) que le combineur 32 n'est pas en contact avec la casserole 1. Son mouvement de translation selon \vec{X} par rapport à la casserole 1, est guidé par les liaisons hélicoïdales avec les deux vis 22 (cf. schéma cinématique établi à la question 2-1-1). Ces liaisons hélicoïdales sont obtenues par la mise en parallèle d'un contact vis-écrou relativement long, d'une part, et d'un contact cylindrique coaxial, long également, par l'intermédiaire d'un coussinet d'autre part. Il s'agit donc manifestement d'assemblages redondants, conduisant, avec la liaison pivot entre la vis 22 et la casserole 1, à un degré d'hyperstatisme élevé.

Celui-ci sera judicieusement diminué en plaçant du jeu dans les contacts vis-écrou, afin de supprimer les conditions de parallélisme entre les deux contacts vis-écrou et de coaxialité entre chaque contact vis-écrou et le guidage par coussinet correspondant. Ce jeu ne portera pas préjudice au fonctionnement, puisque les ressorts 26 assurent le maintien du contact.

2-2 Phase de redémarrage : retour drapeau

Contexte fonctionnel :



Question 2-2-1 :

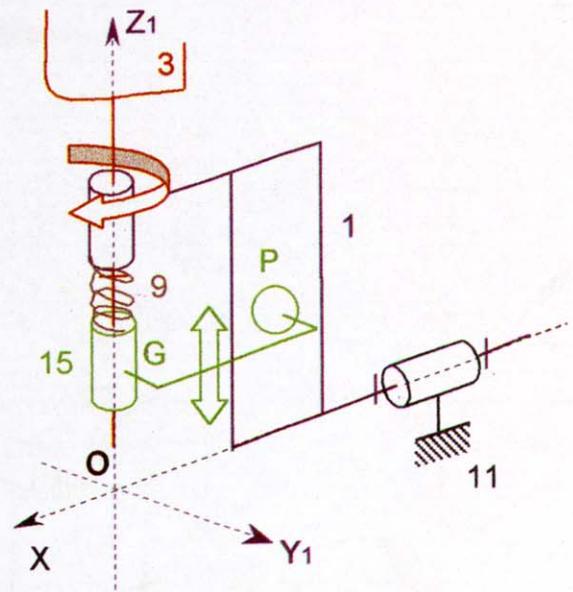
✍ Décrire en quelques lignes le fonctionnement du moulinet lors de cette phase de redémarrage.

Cette phase de démarrage est commandée par le pilote qui actionne l'alimentation de l'électroaimant, ce qui a pour effet de rappeler le plateau de frein 45 qui libère le pignon lié au disque 47. La translation du combineur 32, qui se trouvait bloquée par l'absence de cette mobilité, est donc maintenant possible, et l'énergie potentielle accumulée dans les ressorts 26 peut se libérer.

Ce mouvement de retour du combineur 32 ramène les pales 3 sous une incidence permettant l'entraînement du moulinet à vitesse régulée par le mécanisme étudié au début du sujet (fonction FT022).

Le nombre de mobilités de ce mécanisme est de deux. Une étude de dynamique serait nécessaire pour lever l'indétermination. Néanmoins on peut imaginer que, compte tenu de son inertie importante, le moulinet, et donc la casserole 1, ne tourne pas pendant cette phase. Le train épicycloïdal se comporte donc comme un train ordinaire, comme le traduisent les mouvements indiqués sur le schéma ci-après.

Chaîne cinématique de « régulation » lors de la phase de retour drapeau, faisant apparaître le découplage alors établi entre le mouvement radial de la masselotte et la rotation de la pale :



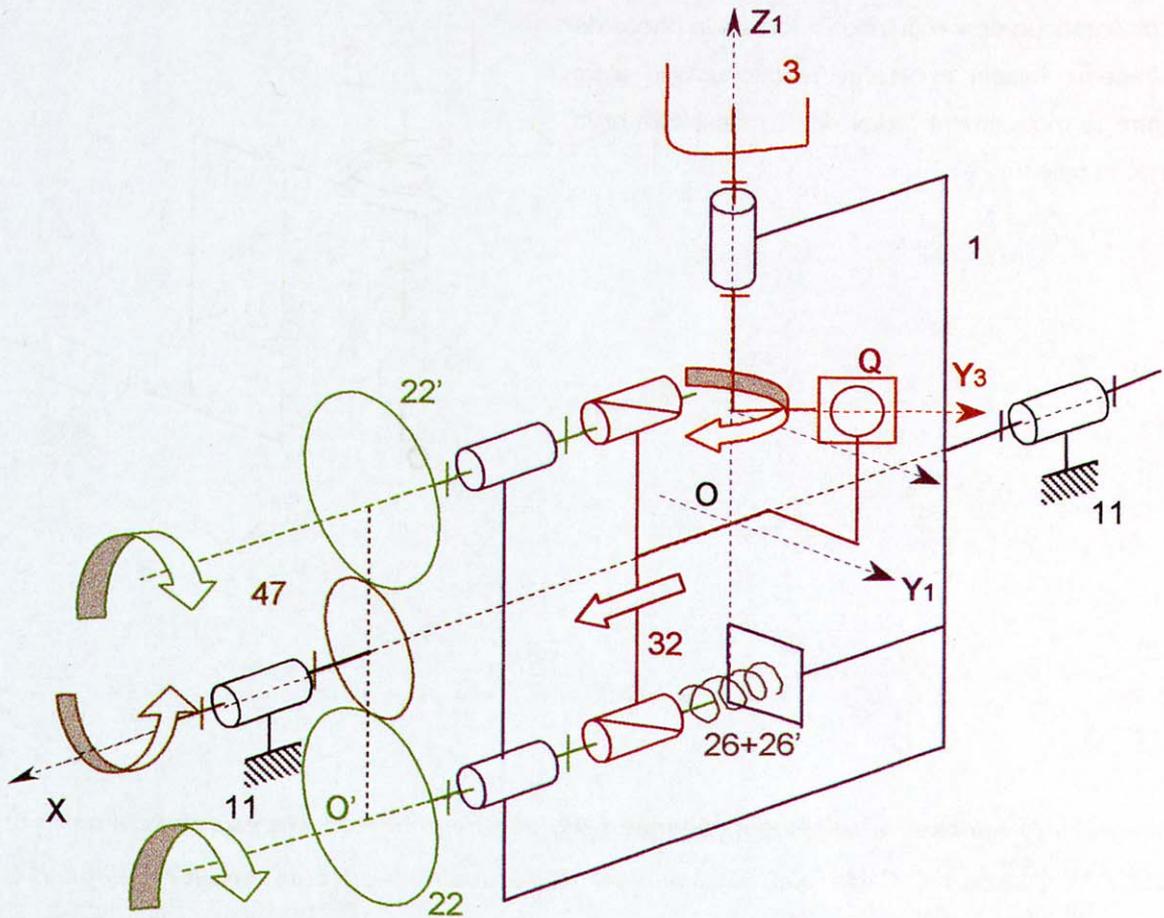
2-3 Bilan

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.

Cette question permet de faire la synthèse des différents points abordés concernant le caractère non permanent des contacts pale 3 - masselotte 15 ainsi que combineur 32 - ressort 26 :

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



Question 2-2-2 :

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

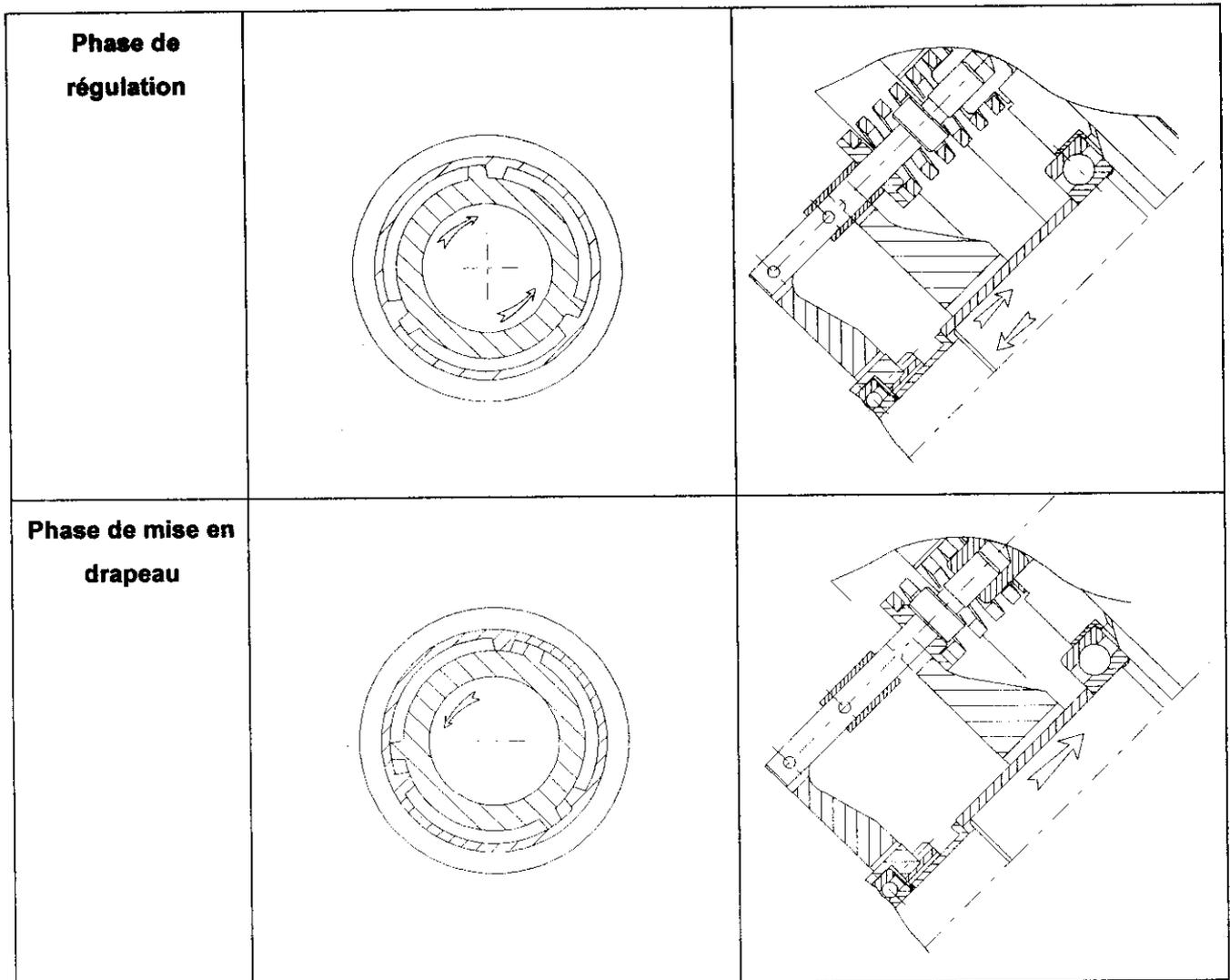
Le caractère unilatéral des cannelures permet une rupture du contact au niveau du filet entre chaque pale 3 et sa masselotte 15, nécessaire :

- à la rotation de la pale au-delà de la butée basse de la masselotte (position drapeau correspondant à une position hors plage de régulation, cf. question 1-3),
- pour que le combinateur 32 puisse actionner le retour drapeau sans rentrer en conflit avec le mécanisme de régulation (en d'autres termes, la libération d'énergie par les ressorts 26 ne doit pas être entravée par les ressorts 9 qui sont beaucoup plus raides).

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

Compte tenu de ce qui précède, on peut considérer que la liaison entre une pale 3 et sa masselotte 15 est, dans cette phase, une liaison pivot glissant, si on admet qu'il y a un guidage suffisant sur la partie cylindrique des cannelures.

La masselotte est alors en équilibre radial relatif par rapport à la casserole 1 sous l'action du ressort 9 et de la force d'inertie centrifuge, et n'entrave pas la rotation de la pale 3.



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

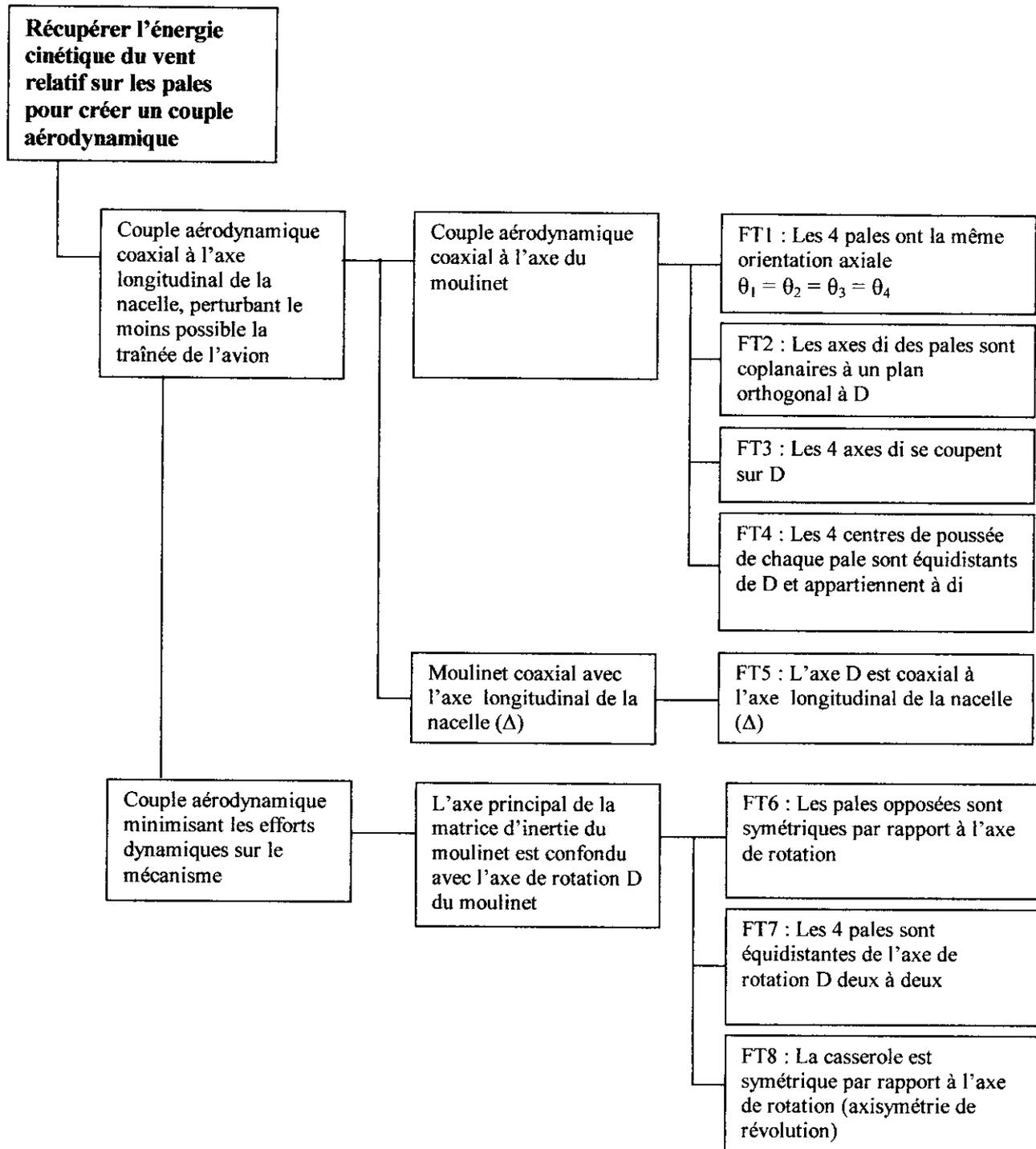
Question 3-1 :

✍ 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.

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.

Proposition de FAST partiel répondant aux deux fonctions de service :



Remarque importante : les conditions exprimées ci-dessus suite à une démarche intuitive sont plus contraignantes que celles qui seraient obtenues suite à une analyse mécanique plus fine (en particulier au niveau de la coplanéité FT2 des axes di qui, si elle est réalisée conduit à un mécanisme répondant aux exigences, mais qui « surcontraint » le système...).

Les fonctions techniques exprimées dans la dernière colonne du FAST concernent le mécanisme total du moulinet, alors que l'étude demandée ne porte que sur le fond de casserole. Il est donc nécessaire d'analyser chaque fonction du point de vue du fond de casserole, de façon à exprimer, sur cette pièce uniquement, les spécifications géométriques qui vont permettre de garantir chaque fonction.

La démarche de spécification retenue consiste à :

1. Analyser chaque fonction technique pour vérifier qu'elle concerne bien le fond de casserole ;
2. Repérer les surfaces influentes du fond de casserole qui participent aux fonctions techniques conservées ;
3. Créer un système de référence attaché au fond de casserole qui permettra de positionner les surfaces fonctionnelles ;
4. Trouver, pour chaque fonction technique conservée, la ou les spécifications géométriques qui la garantissent.

Le tableau suivant récapitule les fonctions techniques exprimées dans le FAST et analyse en quoi chaque fonction intéresse, ou non, le fond de casserole.

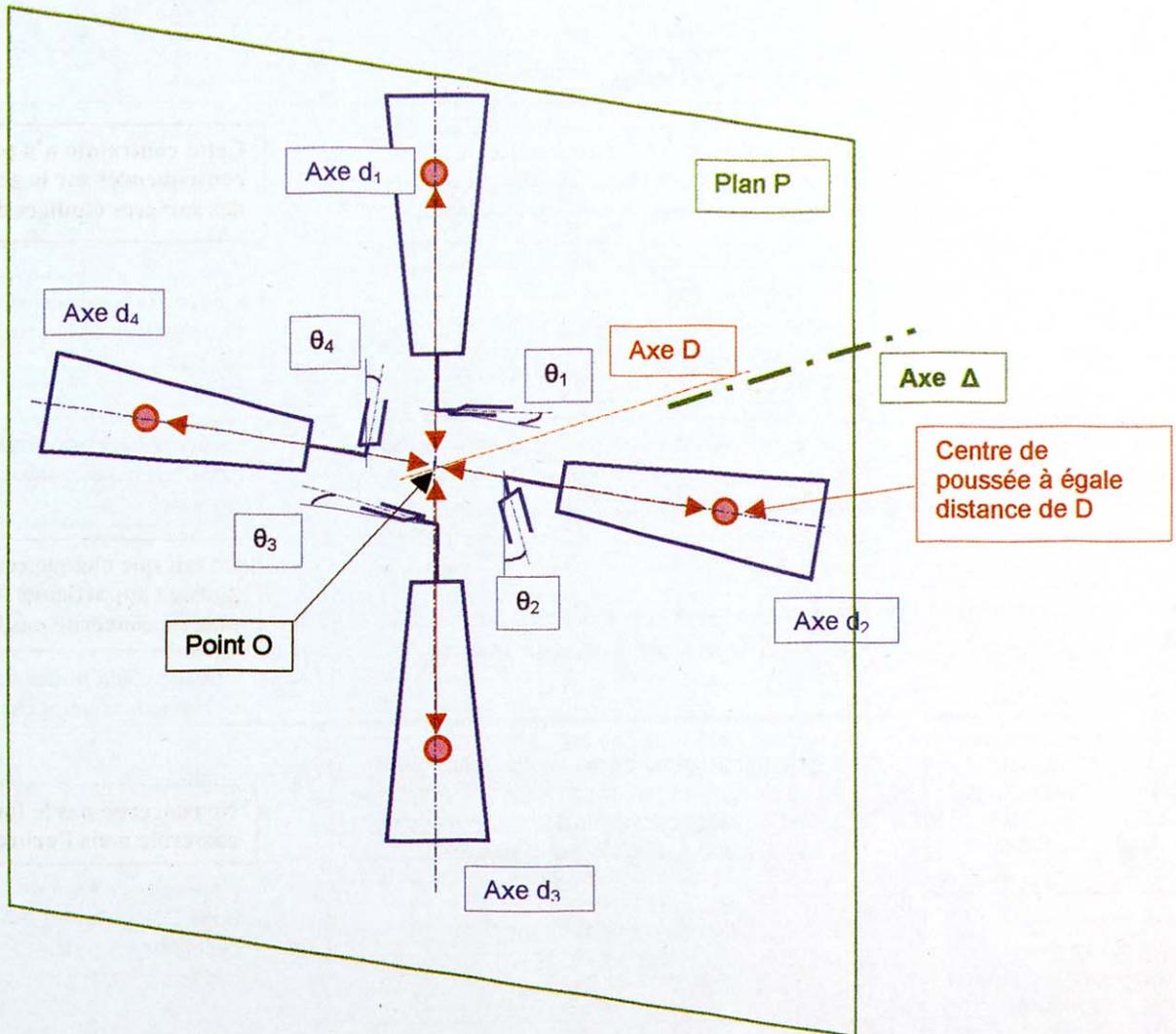
1 - Analyse des fonctions techniques

Fonctions techniques	Analyse et conclusions	
FT 1 : Les 4 pales ont la même orientation axiale $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4$	Le déplacement axial selon D effectué par le combineur est identique sur chaque pale. Au montage, les 4 pales ont un calage identique.	Cette contrainte n'a pas de conséquences sur la géométrie des surfaces étudiées du fond
FT 2 : Les axes d des pales sont coplanaires à P	Les efforts aérodynamiques créés sur chaque pale créent des composantes axiales parallèles à l'axe D, engendrant un couple résultant parallèle à D.	Concerne les positions et les orientations des alésages recevant les pales
FT 3 : Les 4 axes d se coupent sur D	Les efforts aérodynamiques créés sur chaque pale créent un couple résultant dont le point d'application est en O.	Concerne les positions et les orientations des alésages recevant les pales
FT 4 : Les 4 centres de poussée de chaque pale sont équidistants de D et appartiennent à d	Les efforts aérodynamiques créés sur chaque pale créent un couple résultant équilibré.	Le fait que chaque centre de poussée appartienne à l'axe d de pale ne concerne pas le fond
FT 5 : L'axe D est coaxial à l'axe longitudinal de la nacelle (Δ)	L'axe longitudinal de la nacelle (Δ) est l'axe réel de l'épaulement de centrage de l'arbre fixe contraint à être perpendiculaire à la surface d'appui radiale entre l'arbre et la nacelle.	Concerne les positions des épaulements arrêtant les pales
FT 6 : Les pales opposées sont symétriques par rapport à l'axe de rotation	La répartition des masses du moulinet est symétrique par rapport à D dans n'importe quelle position.	Ne concerne pas le fond de casserole mais l'arbre fixe 11
FT 7 : Les 4 pales sont équidistantes de l'axe de rotation D deux à deux	La répartition des masses du moulinet dues aux pales est symétrique par rapport à D.	Concerne le fond de casserole pour l'orientation des alésages recevant les pales
FT 8 : La casserole est symétrique par rapport à l'axe de rotation (axisymétrique de révolution)	La répartition des masses du moulinet due à la casserole est symétrique par rapport à D.	Concerne le fond de casserole pour la position radiale de chaque pale : déjà traité dans FT4
		Concerne les formes générales de la casserole et est garantie par un équilibrage dynamique après assemblage : n'est pas traité dans cette étude

Paramétrage du moulinet

Suite à l'expression des fonctions techniques précédentes, on peut compléter le paramétrage proposé par :

- Le plan P est orthogonal à l'axe de symétrie du moulinet. Il se trouve qu'il a été aussi choisi par le concepteur comme plan de joint entre les deux parties de la casserole ; dans l'étude qui suit, on ne traitera pas des conséquences de ce choix constructif qui n'est qu'un cas particulier.
- L'axe D est l'axe de rotation du moulinet. De manière constructive, il est obtenu par le montage des roulements 20 et 40 (voir remarque au paragraphe 3) .
- L'axe Delta, axe de symétrie de la nacelle portant le moulinet.
- Les centres de poussée de chaque pale.



2 - Repérage des surfaces influentes relatives aux fonctions techniques étudiées

Suite à l'analyse précédente, il est possible de repérer chaque surface intervenant dans la réalisation des fonctions techniques (appelées surfaces influentes).

La démarche suivie ici est « intuitive ». Il serait possible de procéder de façon plus systématique en établissant un graphe des liaisons relatives au mécanisme et en repérant les surfaces participant aux liaisons étudiées.

Comme l'étude proposée reste limitée au fond, la démarche intuitive est acceptable.

S11 : cylindre recevant les pales

S21 : épaulement plan arrêtant les pales

S14

S12

S34

S22

S3 : cylindre portant le roulement d'arbre

S4 : plan d'appui des 2 parties de la casserole

S23

S13

Repérage des types de surface :

- Si : Élément nominal ;
- S'i : Élément découpé du skin model correspondant à l'élément nominal Si ;
- A...Z : Élément de référence spécifiée.

3 - Création d'un système de référence et d'un regroupement de surfaces

Cette étape permet de définir un repère appartenant au fond de casserole qui servira de support à l'expression des spécifications.

L'analyse des fonctions techniques à respecter montre simplement que c'est l'axe D du fond qui est l'élément géométrique de référence le plus utilisé.

Pour définir cet axe, on peut utiliser deux points de vue :

- **Un point de vue constructif**, dans lequel l'axe D est associé au plan S4 dans une logique de type appui plan prépondérant et centrage court. En effet, le plan S4 est beaucoup plus « stable » que l'alésage S3, qui maintient une partie de la bague extérieure du roulement 20 rigide à une rangée de billes, admettant un

rotulage de fonctionnement non négligeable. Cette approche induit une hiérarchie de type Plan/Cylindre dans la définition du système de référence.

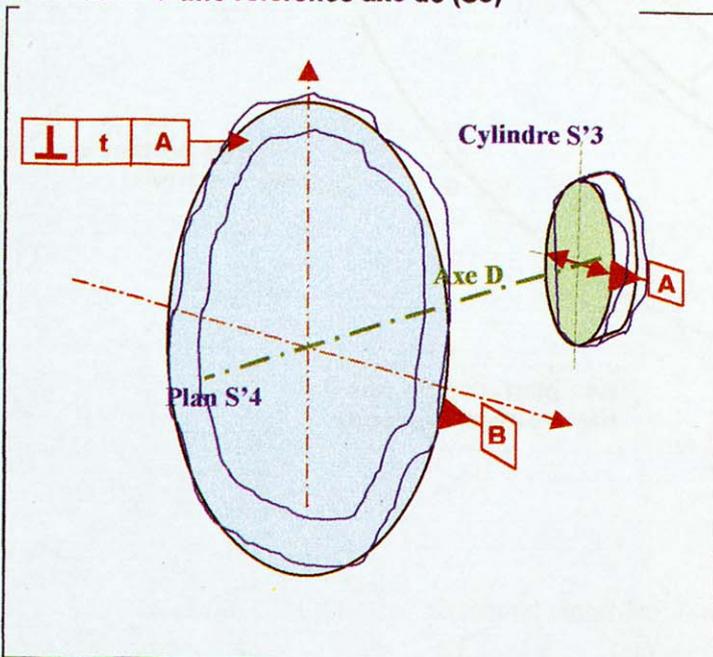
- **Un point de vue conception**, qui ne tient pas compte du plan S4 (le « plan de joint » S4 choisi n'est dû qu'à une facilité de fabrication et de montage... d'autres formes de joints pourraient exister, seule la difficulté de réalisation fait que l'on ne les retient pas).

De ce point de vue, seul l'axe D, commun aux deux portées de roulement, est important et doit servir de référence.

Il est évident que le cylindre S3 de petite dimension correspondant à la portée de la bague extérieure du roulement 20 dans l'alésage du fond de casserole matérialise mal, à lui seul, cet axe. Pour définir correctement ce dernier, il faudra tenir compte des deux roulements (20 et 40) ainsi que de l'assemblage des deux parties de la casserole, ce qui ne rentre pas dans l'étude demandée.

Dans une démarche de spécification fonctionnelle du fond de casserole, c'est donc le **point de vue de conception** qui sera retenu, malgré le fait qu'il ne tienne pas compte des contraintes de réalisation.

Création d'une référence axe de (S3)



L'axe D est la droite axe du cylindre associé à l'élément découpé S3, surface nominale cylindrique recevant la bague extérieure du roulement.

Le plan B est un élément associé à l'élément découpé du skin model S4 nominale plan.

Dans la situation retenue, l'élément de situation du plan B est contraint à être perpendiculaire à l'élément de situation A.

Prise en compte de l'assemblage pale-fond de casserole

Chaque pale est assemblée au fond de casserole par deux liaisons en parallèles :

- Une liaison pivot entre la pale et son boîtier de roulements
- Une liaison complète entre le boîtier de roulement et la casserole.

Cette dernière liaison est assurée par la combinaison de 3 liaisons élémentaires :

- Une pivot glissant d'axe d entre boîtier et casserole, donc avec le fond de casserole, qui assure l'orientation de chaque pale par rapport au fond.
- Un contact plan sur plan entre le boîtier et la fond, assurant un arrêt axial positionnant radialement chaque pale par rapport au fond.
- Un contact quasi ponctuel, assuré par un ergot du boîtier encastré dans le fond, destiné à arrêter la rotation possible du boîtier et à garantir son orientation radiale.

On ne tiendra pas compte, dans la suite de cette étude, de l'ergot qui assure l'annulation du 6ème degré de liberté. Par contre, l'analyse de la liaison pivot entre le boîtier et le fond de casserole fait apparaître la combinaison de 2 liaisons associées qui interviennent directement dans le positionnement et l'orientation de chaque pale :

- le pivot boîtier/fond qui fait intervenir chaque surface cylindrique S11 à S14 ;
- l'appui plan réalisé par les épaulements entre boîtier et fond, avec chaque surface S21 à S24.

L'idéal serait donc de pouvoir construire un système géométrique associant, pour chaque logement de pale, les deux surfaces S1 et S2 selon des contraintes géométriques répondant aux conditions de fonctionnelles du mécanisme.

Cette association cylindre – plan peut être analysée selon deux formes :

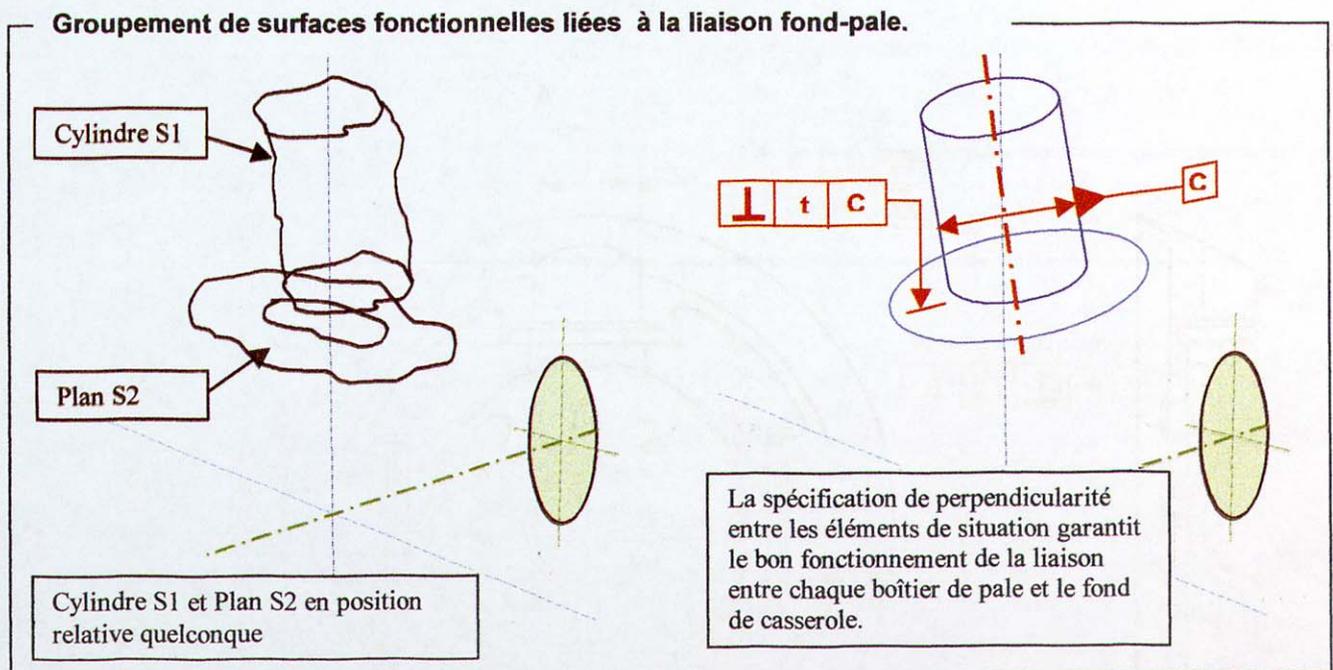
- centrage long prépondérant et arrêt axial ;
- appui plan prépondérant, avec centrage court.

Les contraintes fonctionnelles s'exerçant entre le boîtier et le fond de casserole sont de :

- maintenir une orientation spatiale de chaque pale ainsi que sa position radiale ;
- résister aux efforts extérieurs agissant sur chaque système pale-boîtier.

Ces deux conditions amènent à privilégier la réalisation d'une liaison pivot associée à un appui plan non prépondérant, solution qui résistera mieux aux efforts et augmentera la qualité de l'orientation (compte tenu des dimensions de l'appui plan par rapport au cylindre).

Chaque couple de surfaces réelles S1 et S2 est donc contraint selon une spécification de perpendicularité pour créer un regroupement de surfaces qui devra être positionné et orienté par rapport au système de référence précédent pour répondre géométriquement aux fonctions techniques retenues.



4 - Formalisation des spécifications relatives à chaque fonction technique

Il s'agit maintenant d'exprimer, pour chaque fonction technique retenue, la ou les spécifications géométriques qui vont permettre de la garantir. La démarche retenue, en première approche, consiste à :

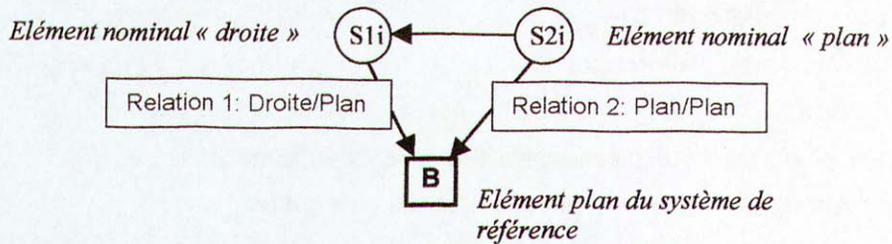
- Repérer le type d'élément nominal associé aux surfaces influentes ainsi que l'élément de référence correspondant à la condition concernant la fonction technique étudiée (qui sera résumé par un schéma) ;

- Identifier les relations à créer entre les éléments nominaux et la référence spécifiée ;
- Traduire la ou les relations par une ou plusieurs spécifications.

4.1 : FT2 : Les axes de des pales sont coplanaires à P

Cette condition peut être formalisée par un graphe simple exprimant les éléments concernés, les conditions géométriques à exprimer et leurs relations d'antériorité.

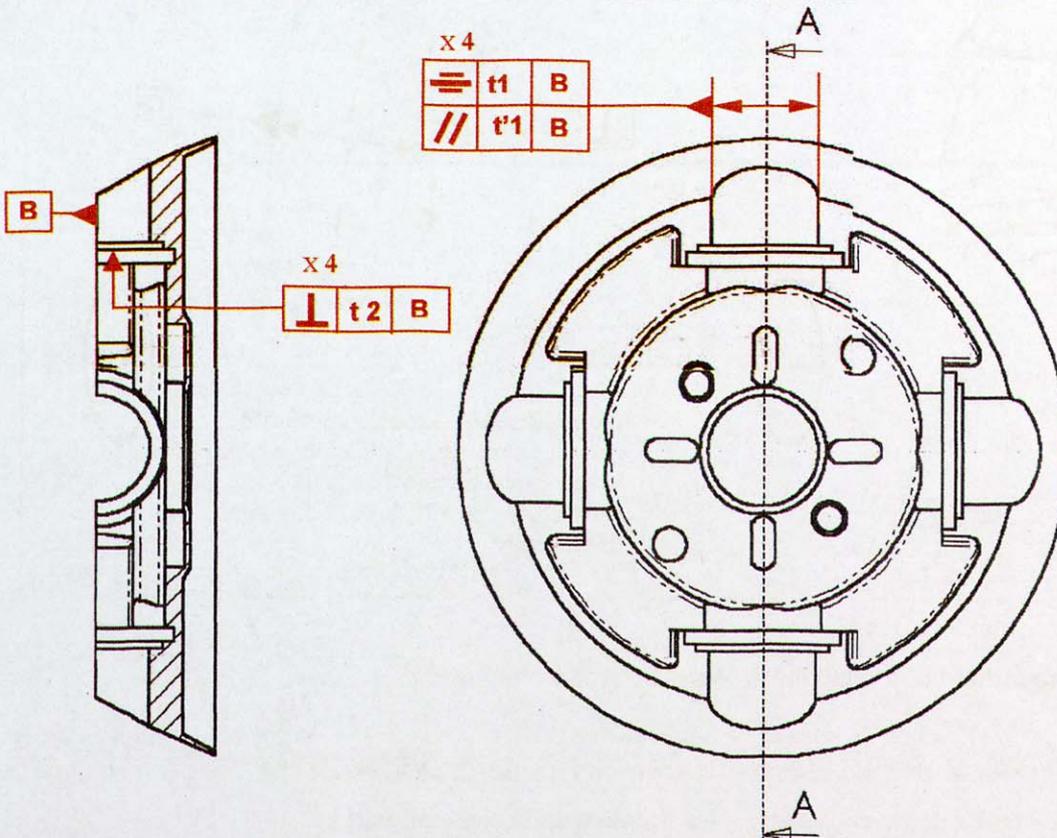
La fonction FT2 exprime que l'axe réel de chaque groupement de surfaces S1i et S2i doit appartenir à une zone de tolérance définie par rapport à l'élément plan B défini précédemment.



La **relation 1** lie des éléments de situation de type Droite et Plan dans une condition de coïncidence de la droite et du plan. Elle peut s'exprimer par une symétrie associée à un parallélisme

La **relation 2** lie des éléments de situation de type Plan et Plan dans une condition de perpendicularité qui est exprimée directement.

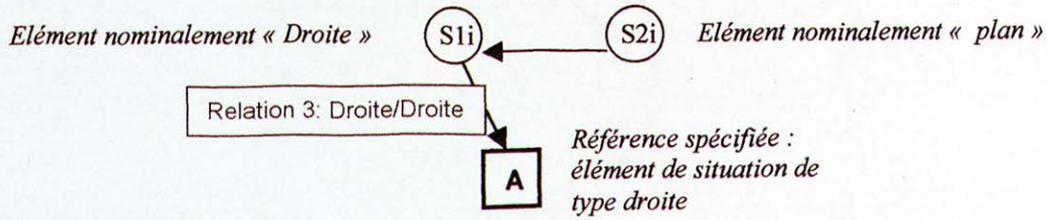
Les spécifications relatives à cette fonction technique se traduisent graphiquement selon la norme ISO par le dessin ci-dessous :



Pour la spécification de symétrie, les dimensions de référence sont implicites (et égales à 0).

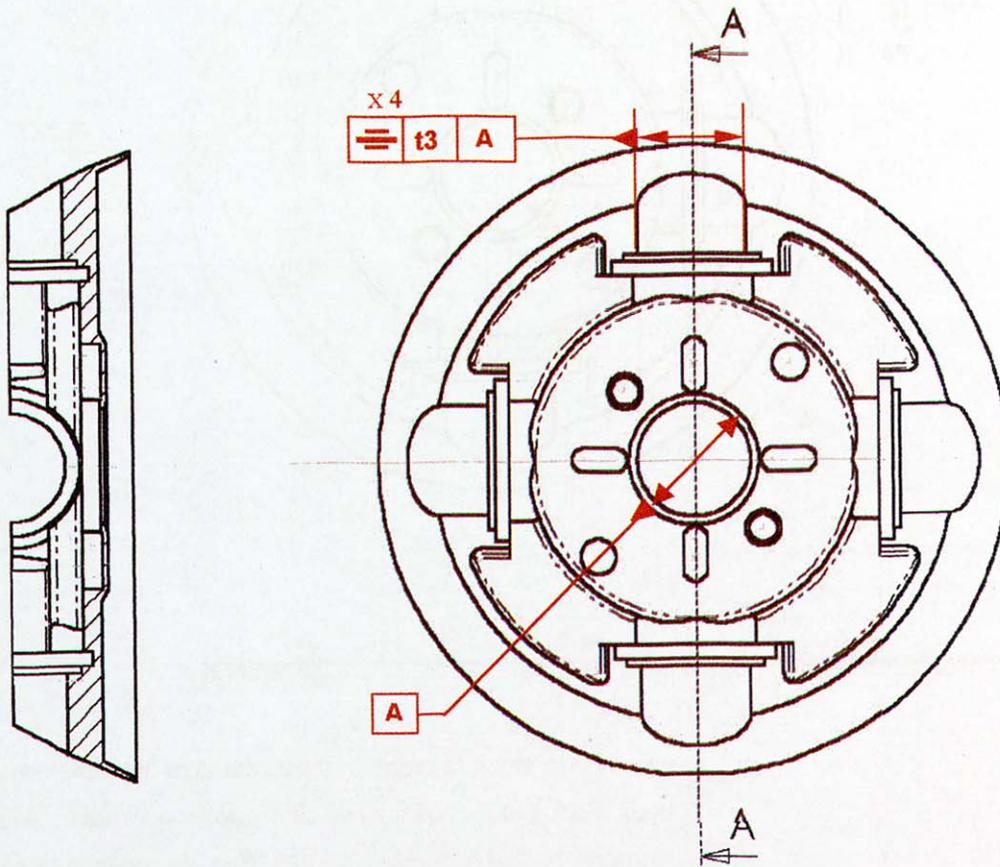
4.2 : FT3 : Les 4 axes d se coupent sur D

Cette fonction se traduit par le graphe ci-dessous :



dans lequel la relation Droite/Droite est une condition d'orthogonalité à distance nulle, ce qui peut aussi se traduire par une symétrie de chaque axe réel des surfaces cylindriques S1i par rapport à l'axe de référence A.

Dans le codage ISO, cela se traduit par les spécifications suivantes :



4.3 FT4 : Les 4 centres de poussée de chaque pale sont équidistants de D

Cette fonction est réalisée par le positionnement de chaque surface plane S2i par rapport à l'axe de symétrie A. Elle s'exprime par le graphe ci-après selon une relation Plan/Droite exprimant une distance entre deux éléments parallèles.

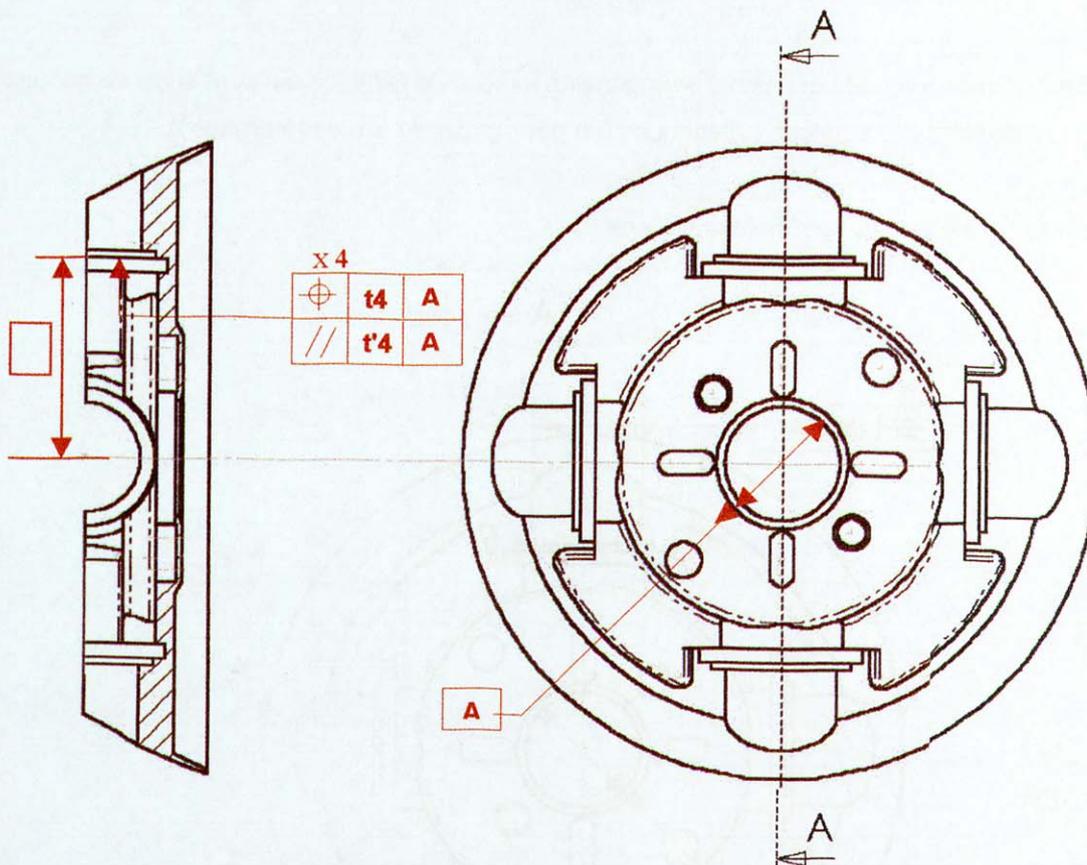
Elle se traduit par deux spécifications, une de localisation et l'autre de parallélisme, portées sur le dessin ci-dessous.

Elément nominal « Droite » S1i ← S2i Elément nominal « plan »

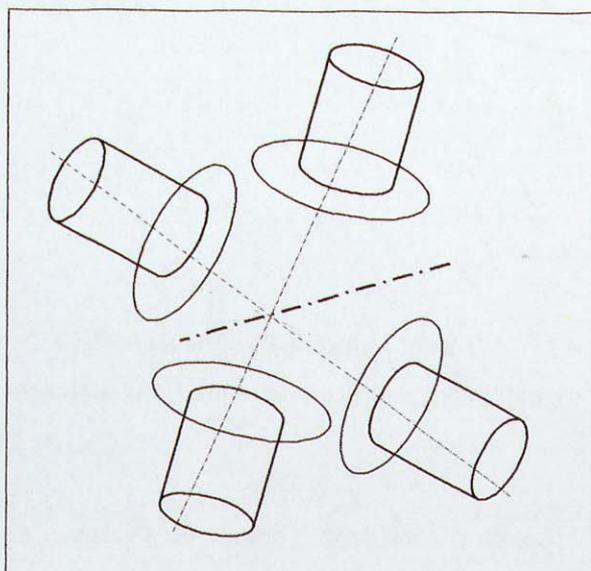
Relation 4: Plan / Droite

A

Référence spécifiée : élément de situation de type droite



4.4 FT 6 : Les pales opposées sont symétriques deux à deux par rapport à l'axe de rotation

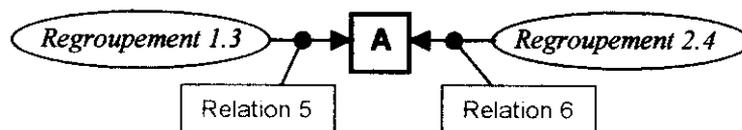


La fonction induit la création d'associations des pales opposées deux à deux et de positionner ces couples par rapport à l'axe de symétrie A. Dans ce cas, il s'agit bien de réaliser la symétrie des regroupements de surfaces S1i et S2i (repérés GSi), comme définis au point 2 (voir dessin ci-contre).

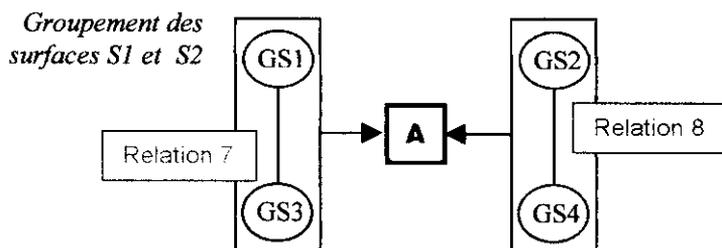
Dans cette configuration, on notera :

- GSi les regroupements des surfaces S1i et S2i, comme défini au point 2 ;
- Reg i les regroupements des deux Gsi opposées.

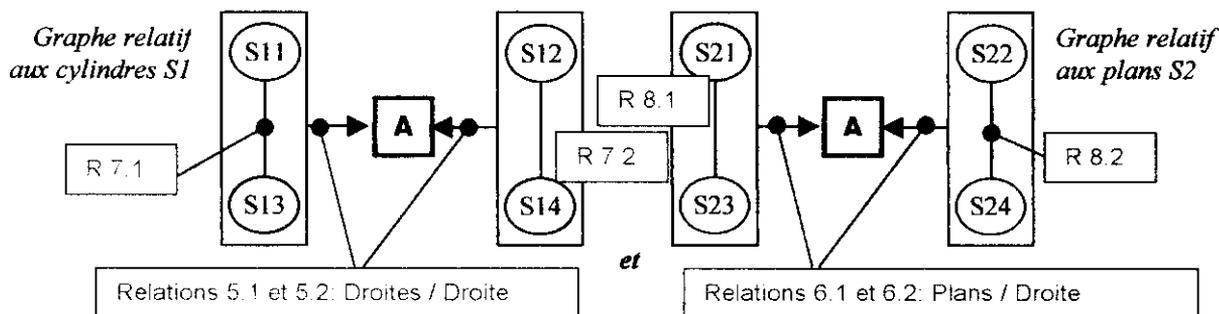
Dans ce cas, la condition recherchée devrait s'exprimer par une contrainte géométrique entre chaque regroupement de surfaces associées et l'axe A, comme l'exprime le schéma ci-dessous :



Malheureusement, la norme ISO actuelle ne permet pas d'exprimer ces conditions entre regroupements de surfaces.... Il est donc nécessaire de décomposer ces regroupements fonctionnels et de traiter chaque regroupement comme un couple de groupements de surfaces liés par une relation (voir schéma ci-dessous).



La norme ISO ne permettant pas de spécifier ces regroupements, il est encore nécessaire de décomposer cette condition en deux conditions particulières associées, telles que les représentent les deux graphes ci-dessous :



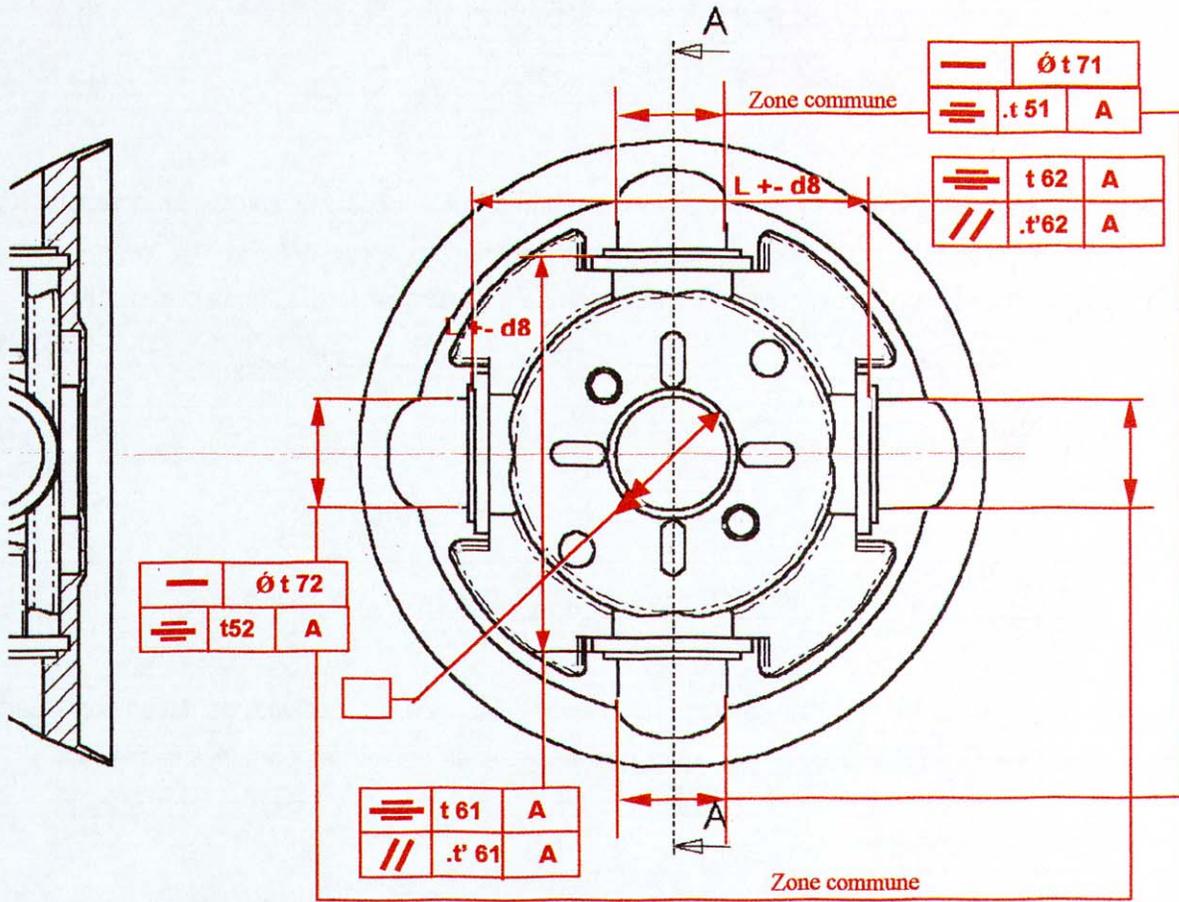
Les relations 5.1 et 5.2 sont de type Droite/Droite pouvant s'exprimer par une condition de symétrie des surfaces S1i par rapport à A.

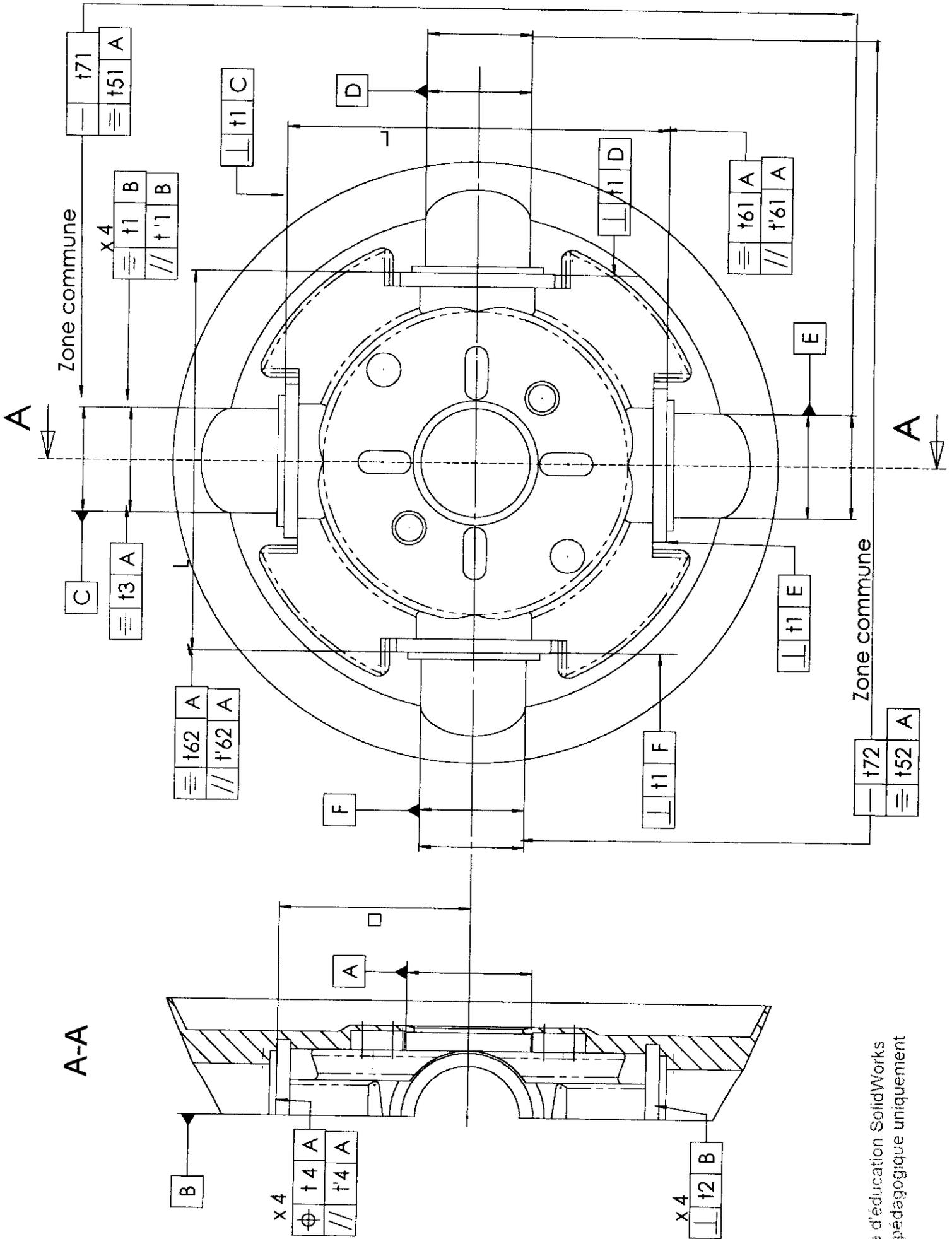
Les relations 6.1 et 6.2 sont de type Plan/Droite qui s'expriment par deux spécifications :

- Une symétrie des épaulements plans S2 par rapport à A ;
- Un parallélisme de chaque épaulement plan S2 par rapport à l'axe A.

Les relations 7.1 et 7.2 sont de type Droite/Droite pouvant s'exprimer par une condition de rectitude en zone commune des alésages S1i.

Les relations 8.1 et 8.2 expriment les distances entre les plan S2i, elles peuvent s'exprimer par une simple dimension, de type « bi-point » entre surfaces opposées, ce qui n'a pas de sens dans une logique de spécification géométrique de surfaces.





COMMENTAIRES

1 – ANALYSE DE LA RÉGULATION (FT022)

Question 1-1 :

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

Question généralement bien traitée. Les quelques erreurs rencontrées furent :

- Casserole considérée comme bâti.
- Liaison masselotte-casserole modélisée par une glissière.
- Mauvaise connaissance des symboles des liaisons pour quelques rares candidats.

La qualité graphique d'exécution (perspective correctement structurée, clarté d'ensemble) a été évaluée.

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.

Trop de candidats manquent de rigueur dans l'exécution d'un tel bilan. Les actions de pesanteur sont très souvent oubliées, ainsi que les actions dans les liaisons non travaillantes (pivot pale-casserole par exemple). Ces oublis ne conduisent pas à des erreurs par la suite, car correspondent à des actions à négliger ou n'intervenant pas dans la régulation. Néanmoins un bilan d'actions mécaniques se doit d'être exhaustif... et exact au niveau de l'Agrégation de Mécanique.

Dans le même esprit, il était intéressant de rappeler dans cette question l'action négligeable du combineur sur la pale dans cette phase.

Certains candidats confondent actions mécaniques et effets d'inertie, sans préciser le repère de travail.

✍ Déterminer alors quantitativement la caractéristique du bloc fonctionnel « effets dynamiques ». Conclure quant au respect des performances exigées par le cahier des charges en termes de plage de régulation.

La démarche d'application du principe fondamental successivement à la pale et à la masselotte (fortement suggérée par la question précédente), puis couplage par le théorème des actions mutuelles, était trop souvent absente des copies. Cette démarche devait amener le candidat, entre autre, à s'intéresser au moment de dévissage sur la pale qui se traduit, via la liaison hélicoïdale en une poussée sur la masselotte. Ainsi, trop de candidats ont obtenu le résultat attendu de manière strictement intuitive en égalisant l'action du ressort aux effets d'inertie, sans s'interroger sur la chaîne de solides et donc émettre les hypothèses nécessaires.

Une fois l'équation de mouvement obtenue, il convenait de tracer la caractéristique demandée et de vérifier les éléments du cahier des charges en termes de plage de régulation (valeur nominale et amplitude). Cette question appelait à lire des données géométriques sur le plan. Elle n'a pratiquement toujours été abordée que partiellement.

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.

Cette question, sans difficulté, a manifestement dérouté les candidats qui se sont contentés de réciter la relation cinématique du système vis écrou, sans l'appliquer au mécanisme étudié, en particulier sans prendre en compte la course limitée de la masselotte.

Question 1-4 :

✍ Établir un dessin à main levée (mode de représentation au choix) de l'insert 16 en spécifiant en légende le rôle fonctionnel de chacune des surfaces contribuant à la fonction globale.

La qualité de réponse à cette question a été très diverse.

Certains candidats ont fait manifestement preuve :

- de la culture technique attendue :
 - géométrie cohérente avec les procédés d'obtention courants (ajustement dans un alésage cylindrique...),
 - présence du chanfrein et du trou taraudé pour le montage et le démontage,
 - identification claire des différentes surfaces fonctionnelles ;
- d'une capacité appréciée de représentation plane d'une pièce volumique, que ce soit par une perspective ou un ensemble de deux projections géométrales.

D'autres candidats, à l'inverse, n'ont pu proposer que des formes inadaptées aux fonctions ou aux moyens de production.

A noter une erreur dans la nomenclature, relative au nombre d'inserts. Cette erreur a conduit certains candidats à s'interroger à juste titre sur la géométrie demandée. Les correcteurs ont su en tenir compte dans leur notation.

Question 1-5 :

✍ Préciser la nature et la structure de la solution constructive retenue pour la précharge du ressort 9 (en vous aidant de croquis par exemple) et indiquer ce qui garantit, en phase de fonctionnement, l'indémontabilité de cet assemblage.

Très rares sont les candidats ayant perçu le dispositif par baïonnette.

Question 1-6 :

Avant-projet de modifications

Il faut tout d'abord noter, que pris par le temps ou ayant fait le choix de ne pas aborder la partie "conception" pour approfondir d'autres questions, près d'un candidat sur cinq n'a pas abordé cette partie du sujet.

Les difficultés rencontrées par les candidats témoignent :

- chez beaucoup d'entre eux d'une culture des solutions techniques un peu limitée,
- de choix techniques rendant parfois impossible le montage de composants,
- de propositions de solutions ne traitant pas le problème posé,
- d'absence fréquente de conditions fonctionnelles portées sur le dessin ou spécifiées par ailleurs.

Quelques candidats ont convenablement traité le problème mais leurs résultats auraient été meilleurs s'ils avaient, comme cela était demandé dans le sujet, écrit quelques commentaires techniques permettant de lever les ambiguïtés du dessin réalisé. Quelques uns d'entre eux (moins de 10) ont présenté les solutions proposées ainsi que les critères qu'ils jugeaient prépondérants pour justifier leurs choix. Ces formes de présentations ont été très appréciées. Enfin le commentaire technique peut et doit se faire, comme tout texte rédigé, dans un français correct ce qui est loin d'être la situation majoritaire (orthographe en particulier).

Il est clair que l'entraînement à l'argumentation technique ou à l'analyse concurrentielle devra être développé chez les futurs candidats, autant qu'une culture des solutions constructives.

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

2-1 Phase d'arrêt : mise en drapeau

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 généralement bien traitée, comme la question 1-1.

Quelques lourdeurs dans la représentation du frein, ou la présence d'une liaison glissière entre le combinateur et la casserole, venaient parfois entacher le schéma.

La qualité graphique d'exécution, comme à la question 1-1, a été évaluée.

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.**

Cette question a été très mal traitée. Certes, les candidats semblent avoir compris, globalement, le fonctionnement du moulinet lors de la phase d'arrêt (cf. schéma cinématique précédent généralement très correct), mais ils ont été incapables de faire un bilan énergétique complet et rigoureux. Cette difficulté est à rapprocher de celle signalée à la question relative au bilan des actions mécaniques, et est grave au niveau de l'Agrégation.

Question 2-1-3 :

✍ La nomenclature fait apparaître que la vis 22 se caractérise par un pas important : justifier cette caractéristique.

Le caractère irréversible, fondamental pour la restitution de l'énergie par les ressorts, n'a pas toujours été perçu par les candidats, qui n'ont parfois avancé que des arguments cinématiques, ici secondaires, puisque pouvant être reportés dans l'engrenage.

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

Dans ce genre de question ne présentant que deux réponses possibles, il va de soi que l'argumentation (croquis avec flèches) est nécessaire.

✍ 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.

L'analyse des mobilités a été généralement bien traitée. Par contre les conditions de fonctionnement ont été trop rarement correctement identifiées.

2-2 Phase de redémarrage : retour drapeau

Question 2-2-1 :

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

La réponse à cette question était partiellement fournie dans l'énoncé. Il s'agissait ici de faire un effort d'explication, en particulier en soulignant la double mobilité du train épicycloïdal.

Question 2-2-2 :

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

Le nécessaire découplage entre la régulation et le retour drapeau a été perçu par un nombre honorable de candidats.

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

Très curieusement certains candidats, ayant répondu correctement à la question précédente n'ont pas été capables de proposer un modèle de liaison pivot-glissant.

2-3 Bilan

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.

Cette question permettait de faire la synthèse des différents points abordés concernant le caractère non permanent des contacts pale-masselotte ainsi que combineur-ressort. La réponse correcte à certaines questions précédentes était donc une condition nécessaire. Les candidats dans cette situation ont su répondre très brillamment, à l'aide de croquis bien construits, à cette question de bilan.

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

Questions 3-1 et 3-2 :

✍ 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.

✍ 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.

Cette partie avait pour objectif de vérifier la capacité des candidats à associer à une ou plusieurs fonctions de service identifiées des spécifications géométriques normalisées permettant de garantir le bon fonctionnement des solutions constructives proposées et ce, de manière uniquement qualitative.

Il n'y avait donc pas de solution unique, car la formalisation de l'organisation des fonctions techniques à travers le diagramme FAST engendre :

- des conditions fonctionnelles géométriques particulières entre les pièces constitutives du mécanisme ;
- des contraintes géométriques entre certaines surfaces du fond de casserole, qui appartient au système mécanique étudié ;
- des spécifications géométriques de la norme ISO permettant de traduire ces conditions sur la pièce considérée.

Les démarches complètes amenant à l'étude systématique de cette procédure (analyse du mécanisme et de ses liaisons, bilan des surfaces influentes relatives aux conditions fonctionnelles, bilan des chaînes bouclées relatives à une condition et traduction en spécifications fonctionnelles) étant trop longues pour ce type d'épreuve, l'approche attendue était donc essentiellement intuitive, globale et qualitative.

Les correcteurs ont donc attaché de l'importance aux éléments suivants :

- au bilan global des conditions géométriques relatives au fond de casserole et permettant de respecter les deux fonctions de service attendues, sans tenir compte de la décomposition fonctionnelle proposée et en s'attachant simplement au bilan final.
- aux propositions de spécifications portées sur le dessin de définition du fond de casserole, en tenant essentiellement compte :
 - de la définition d'un repère de référence sur le fond de casserole, prenant en considération le fait que cette pièce n'est qu'une partie de l'ogive et doit se raccorder à l'autre partie ; cette fonction technique n'étant pas à étudier, c'est le principe qui a été apprécié ;
 - de la cohérence entre les spécifications portées et les contraintes géométriques trouvées dans la première partie, sans tenir compte du respect des normes ISO en vigueur ;
 - du respect des normes ISO en vigueur, en terme de spécifications, de représentation symbolique et graphique et de la pertinence de leur utilisation vis à vis d'un objectif à atteindre.

Les résultats sont très décevants. Très peu de candidats ont répondu correctement aux deux parties de la question et nombre d'entre eux n'ont pas abordé cette question (à cause de sa place en fin d'épreuve ou de sa difficulté ?). Une partie de ceux qui ont abordé cette partie a su donner les conditions géométriques de bases répondant aux deux fonctions de service proposées, mais en restant souvent à un niveau trop superficiel qui ne leur a pas permis de définir des conditions relatives au fond de casserole. Certains autres ont, au contraire, su identifier ces conditions fonctionnelles et les exprimer valablement, montrant que la démarche intuitive proposée permet, en première approche, d'aborder correctement la cotation géométrique du produit.

Au niveau de la cotation, très peu de candidats ont osé proposer des solutions, même simples... ce qui aurait tendance à prouver une grande carence dans ce domaine. Impression sans doute confortée par l'examen de nombreuses propositions prouvant que la majorité des candidats ne maîtrisent ni le fond, ni la forme du tolérancement géométrique et ce, quelles que soient les normes en vigueur ou les démarches à la mode.

A l'inverse, les rares candidats qui avaient une idée, même partielle de cette approche indispensable à la bonne définition des produits et de sa formalisation, ont proposé des spécifications logiques qui, même incomplètes, ont été prises en compte.

