Banque PT, France

Session 2024, filière PT

Sciences industrielles C

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : étude d'exigences d'une mission de lancement orbital
- Partie II : étude de la descente à contrôle aérodynamique et du mécanisme de déploiement des ailettes
- Partie III : industrialisation de composants du mécanisme
- Partie IV : conception

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/2024/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 13 pages de texte, numérotées de 1 à 13.
- 1 cahier de 15 pages, numérotés de 1 à 15 intitulé "**DOCUMENT RESSOURCE**".
- 1 cahier réponse de 20 pages **à rendre à la fin de l'épreuve.**
- 1 document A3, intitulé **« DESSIN REPONSE », à rendre à la fin de l'épreuve.**

Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur à l'exception de tous les modèles de règles à calcul.

TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE

Gestion du temps : *En admettant une durée de 20 minutes pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer environ 15 % du temps à la partie I, environ 15 % du temps à la partie II, environ 30 % du temps à la partie III et 40% du temps à la partie IV.*

Avertissement :

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 nécessaires 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.

RETALT1 : projet européen de lanceur orbital réutilisable*

Présentation

Depuis 2016, la version réutilisable du lanceur à deux étages Falcon 9 de la société SpaceX, qui a mis au point pour la première fois des technologies permettant la récupération du premier étage, a atteint une phase opérationnelle. Elle a démontré la viabilité d'une solution qui permet d'abaisser de manière sensible les coûts des lancements. Plusieurs constructeurs développent ou étudient des lanceurs reprenant cette architecture : New Glenn, Longue Marche 8, Ariane Next, etc.

L'industrie spatiale européenne et l'ESA (European Space Agency) souhaiteraient développer un lanceur réutilisable, capable de repositionner l'Europe sur le marché des lanceurs spatiaux.

Le projet RETALT, financé par la Commission Européenne, s'est donné l'objectif d'étudier les technologies critiques pour des lanceurs réutilisables à décollage et atterrissage vertical. Les technologies clés identifiées incluent le contrôle de trajectoire lors de la phase de descente et le contrôle de la phase finale d'atterrissage par rétropropulsion.

Description du système

Un lanceur classique utilise des moteurs de fusée suffisamment puissants (rapport entre la poussée des moteurs et le poids du lanceur > 1 au décollage) pour lui permettre de décoller verticalement sans avoir pris au préalable de vitesse horizontale (comme le font les avions). Pour pouvoir fonctionner, ses moteurs utilisent du propergol, constitué de différents ergols (substances liquides ou solides qui sont stockées dans des réservoirs). Contrairement à un avion, un lanceur classique puise le comburant (un des ergols : oxygène ou oxydant) non pas dans l'air ambiant mais dans ses réservoirs pour pouvoir fonctionner en l'absence d'atmosphère. Le rapport entre la masse du propergol et la masse totale du lanceur au lancement (appelé fraction massique du propergol) joue un rôle important dans la capacité du lanceur à atteindre des vitesses élevées. Aussi, pour pouvoir atteindre l'orbite, un lanceur comporte souvent plusieurs étages qui se détachent au fur et à mesure que leurs réservoirs se vident et sont détruits durant leur descente vers le sol car aucun dispositif de récupération n'est emporté. Le coût des étages ainsi perdus représente une proportion très importante du coût total de la mission avec des lanceurs classiques.

Les lanceurs réutilisables développés récemment présentent des avantages financiers très importants. La difficulté principale de la mise au point de ce type de lanceur réside dans le développement des technologies, procédures et sous-systèmes nécessaires pour la récupération de l'étage principal (premier étage) par atterrissage contrôlé.

Les caractéristiques techniques du lanceur réutilisable proposé par le projet RETALT (lanceur appelé RETALT1, voir Figure 1 de la page suivante) sont regroupées dans le **Document Ressource 1.** La fabrication d'une première série de **10** lanceurs est envisagée.

**Une grande partie des données, images et explications proviennent des publications issues du projet européen RETALT (https://www.retalt.eu/publications/)*

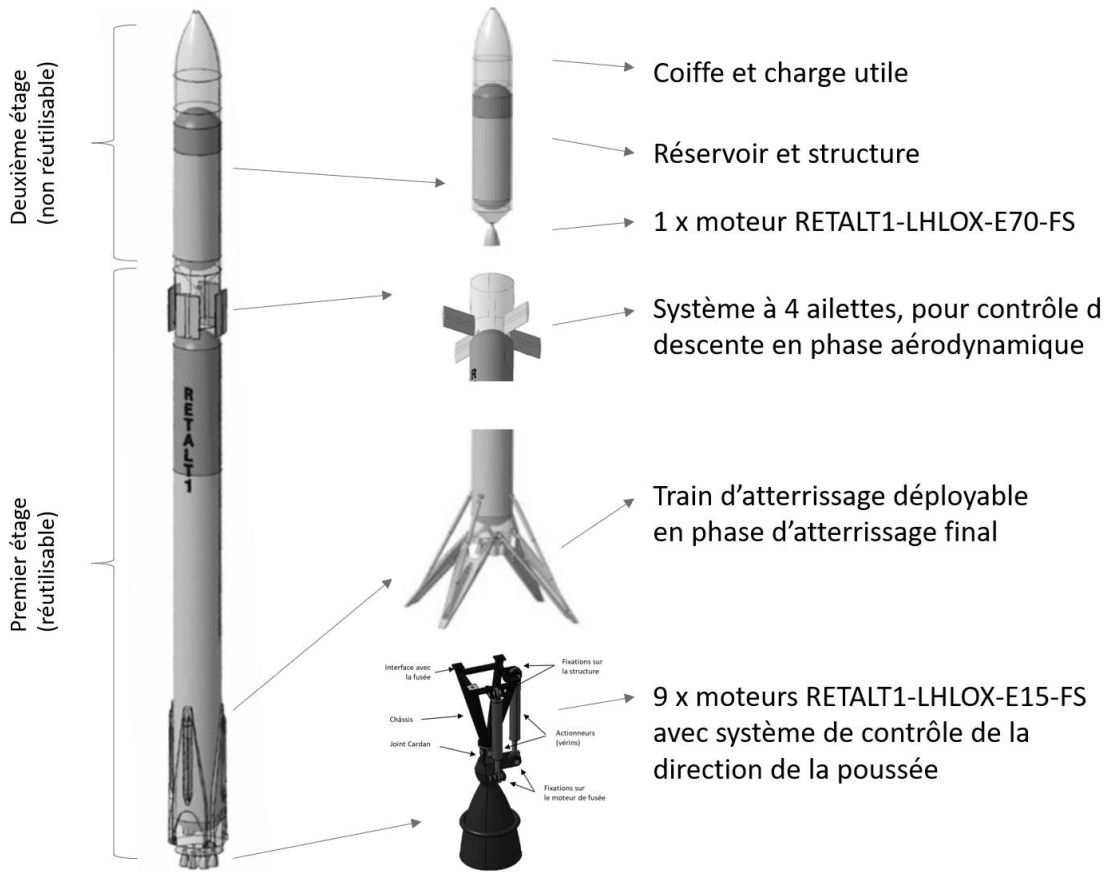


Figure 1 : Structure du lanceur RETALT1

Nous proposons d'étudier dans ce sujet certains aspects fondamentaux des missions utilisant des lanceurs spatiaux, pour ensuite se concentrer sur quelques éléments technologiques nécessaires au vol descendant contrôlé du premier étage d'un lanceur RETALT1. Nous étudierons notamment le mécanisme de déploiement et pilotage des ailettes (surfaces de contrôle utilisées en phase de descente aérodynamique / phase 7 du **Document Ressource 1**).

Le sujet est organisé en 4 parties :

- La **PARTIE I** analyse la mécanique de base d'un lancement spatial : vitesse et masse de propergol nécessaire pour une orbite donnée, justification de lanceurs à plusieurs étages ;
- La **PARTIE II** concerne la phase de descente de l'étage principal, après séparation et plus particulièrement le contrôle des ailettes qui permettent de piloter la trajectoire et l'orientation ;
- La **PARTIE III** s'attache à la réalisation de certaines pièces entrant dans la constitution du système d'orientation des ailettes ;
- La **PARTIE IV** traite de la conception de deux sous-systèmes du mécanisme de déploiement des ailettes.

REMARQUE : Les **Documents Ressources 4** et **5** proposent des valeurs, relations mathématiques et graphiques utiles pour certains développements analytiques et applications numériques.

Partie I : Etude d'exigences d'une mission de lancement orbital

Dans cette partie, nous étudions les bases théoriques et les besoins d'une mission de lancement de charges utiles en orbite. Dans un premier temps, nous nous intéressons à la condition de stabilité d'une orbite d'une masse ponctuelle $\boldsymbol{m}$ (charge utile), de hauteur $\boldsymbol{h}$ par rapport à la surface de la Terre. Le **Document Ressource 2** fournit une description du système Terre / charge utile (satellite artificiel, par exemple), et des informations utiles pour la suite. Les paramètres du mouvement stable étudié sont : la norme de la vitesse $\boldsymbol{V}$ (considérée constante) de la charge utile arrivée sur son orbite et la hauteur $\boldsymbol{h}$ de l'orbite (considérée circulaire autour de la surface de la Terre). Nous considérons ici un champ gravitationnel uniforme et constant, auquel on peut associer un potentiel de la pesanteur.

Question I.1 : A partir des lois de la mécanique classique (lois de l'attraction gravitationnelle, principe fondamental de la dynamique), déduire l'expression de la vitesse nécessaire $\boldsymbol{V}$ en fonction de la hauteur $\boldsymbol{h}$ d'une orbite circulaire stable. Calculer cette vitesse pour une charge utile $\boldsymbol{m}$ à placer sur une orbite de hauteur $\boldsymbol{h} = 1700\ \mathrm{km}$.

Question I.2 : Donner l'expression et la valeur numérique de l'énergie mécanique totale (énergie potentielle + énergie cinétique) qu'une masse $\boldsymbol{m} = 10\ \mathrm{t}$ doit gagner pour être placée sur une orbite de hauteur $\boldsymbol{h} = 1700\ \mathrm{km}$.

Considérons un propergol d'énergie spécifique égale à $\boldsymbol{E_s} = 7000\ \mathrm{J/g}$ (énergie dégagée pour un gramme de propergol consommé).

Question I.3 : En supposant que 60% de l'énergie dégagée par le propergol est réellement convertie en énergie mécanique, calculer la masse totale de propergol nécessaire pour produire l'énergie calculée à la question I.2. Comparer le résultat avec les caractéristiques de la fusée (**Document Ressource 1**) et expliquer la différence en critiquant le raisonnement proposé.

Le **Document Ressource 3** présente le modèle simplifié (système isolé en absence de forces extérieures) d'une fusée propulsée par son moteur, par l'expulsion continue d'une partie de sa masse (propergol) sous forme de gaz sortant à haute vitesse d'éjection $\overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}$.

Question I.4 : (Equation de Moore-Tsiolkovski-Oberth) En utilisant les considérations du **Document Ressource 3**, prouver que :

$$\boldsymbol{M}\,\Delta\overrightarrow{\boldsymbol{V}} = \overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}\,\Delta\boldsymbol{M}$$

Considérons un état initial de la fusée, caractérisé par une masse $\boldsymbol{M_i}$ et une vitesse $\overrightarrow{\boldsymbol{V_i}}$, et un état final caractérisé par une masse $\boldsymbol{M_f}$ et une vitesse $\overrightarrow{\boldsymbol{V_f}}$. Nous faisons l'hypothèse d'une vitesse d'éjection des gaz $\boldsymbol{V_E}$ constante et d'un débit constant de propergol brulé, noté $\boldsymbol{q}$ en $\mathrm{kg/s}$.

Nous pouvons ainsi écrire :

$$\boldsymbol{M}(t) = \boldsymbol{M_i} - \boldsymbol{q}.t$$

Question I.5 : Partant de la relation proposée à la Question I.4, des notations et considérations précédentes ainsi que des aide-mémoires et graphiques des **Documents Ressources 4** et **5**, prouver que :

$$\Delta \boldsymbol{V} = \boldsymbol{V_f} - \boldsymbol{V_i} = -\boldsymbol{V_E}\, ln\, \frac{\boldsymbol{M_i}}{\boldsymbol{M_f}}$$

Considérons maintenant deux fusées, non récupérables (tout le carburant peut être utilisé), de masses initiales identiques, une en version monoétage, l'autre en version à deux étages :

A. Version à un seul étage, de masse initiale totale : $\boldsymbol{M_i} = 899$ t
   - Masse de la structure $\boldsymbol{M_s} = 67$ t
   - Masse de la charge utile $\boldsymbol{M_{ch}} = 14$ t
   - Masse totale de propergol $\boldsymbol{M_P} = 818$ t

B. Version à deux étages, de masse initiale totale : $\boldsymbol{M_i} = 899$ t
   - Masse totale du premier étage : $\boldsymbol{M_{i1}} = 680$ t
     - Masse de la structure du premier étage $\boldsymbol{M_{S1}} = 50$ t
     - Masse totale du propergol du premier étage $\boldsymbol{M_{P1}} = 630$ t
   - Masse totale du deuxième étage (charge comprise) : $\boldsymbol{M_{i2}} = 219$ t
     - Masse de la structure du deuxième étage $\boldsymbol{M_{S2}} = 17$ t
     - Masse totale du propergol du deuxième étage $\boldsymbol{M_{P2}} = 188$ t
     - Masse de la charge utile $\boldsymbol{M_{ch}} = 14$ t

Dans les deux cas, la vitesse initiale au départ de la fusée du pas de tir est bien évidemment nulle. L'intensité du vecteur vitesse d'éjection des gaz est $\boldsymbol{V_E} = -4000\, m/s$ et l'effet des forces extérieures sera négligé. La séparation du deuxième étage a lieu quand le propergol du premier étage a été entièrement consommé.

Question I.6 : Partant des relations proposées précédemment, donner les expressions des vitesses finales de la charge utile (à l'épuisement de la totalité de propergol), pour les deux configurations A et B présentées ci-dessus.

Question I.7 : Partant des relations déduites à la question précédente, donner une évaluation numérique de la vitesse finale de la charge utile dans les deux configurations A et B. A partir des résultats obtenus, justifier l'intérêt des fusées à deux étages par rapport aux fusées à un seul étage.

Partie II : Etude de la descente à contrôle aérodynamique et du mécanisme d'orientation des ailettes

Une fusée conventionnelle à deux étages présente l'inconvénient de la perte du premier étage (système complexe et très coûtant, comportant réservoirs, moteurs, etc.). Il est souvent trop lourd pour l'utilisation des parachutes, raison pour laquelle ont été développées des technologies capables de ramener cet étage par un contrôle efficace de la rentrée dans l'atmosphère et par un vol descendant maitrisé. Lors du retour sur Terre de l'étage principal, après le deuxième retournement de la fusée, en préparation de l'entrée dans l'atmosphère, les ailettes du système de contrôle aérodynamique sont déployées lors de la phase 5 du **Document Ressource 1** (phase détaillée dans le **Document Ressource 6**). Les moteurs de la fusée freinent ensuite par rétropropulsion lors de la phase 6 du **Document Ressource 1**.

Question II.1 : Expliquer en proposant au moins deux arguments pourquoi les phases 5 et 6 du **Document Ressource 1** se déroulent avant l'entrée dans l'atmosphère.

Après ces deux manœuvres, l'étage principal entre en phase de descente aérodynamique (phase 7 du **Document Ressource 1**), lors de laquelle son orientation et sa trajectoire sont contrôlées uniquement à l'aide des mécanismes d'orientation des ailettes. Nous considérons ensuite une descente avec une orientation stable et parfaitement verticale du premier étage de la fusée (**Document Ressource 7**).

Question II.2 : Quelles sont les positions angulaires $\boldsymbol{\alpha_1}$, $\boldsymbol{\alpha_2}$, $\boldsymbol{\alpha_3}$ et $\boldsymbol{\alpha_4}$ des ailettes permettant de générer un freinage maximum ? Compléter le tableau présent dans le cahier réponse et expliquer votre raisonnement.

Nous considérons à présent deux cas de descente aérodynamique à la verticale, à vitesse constante, avec les ailettes inclinées au maximum par rapport au corps de l'étage (**Document Ressource 7**) :

- Descente subsonique à vitesse constante (avant atterrissage) :
  - Masse de la fusée $\boldsymbol{M_F} = 70$ t
  - Forces de trainée agissant sur le corps de la fusée $\boldsymbol{F_T} = 150000$ N $= 150$ kN
  - $\boldsymbol{F_A} = 0{,}45\ \boldsymbol{F_N}$
- Descente supersonique à vitesse constante (entrée dans l'atmosphère) :
  - Masse de la fusée $\boldsymbol{M_F} = 95$ t
  - Forces de trainée agissant sur le corps de la fusée $\boldsymbol{F_T} = 10000$ N $= 10$ kN
  - $\boldsymbol{F_A} = 0{,}35\ \boldsymbol{F_N}$

Question II.3 : Donner l'expression analytique de l'effort normal $\boldsymbol{F_N}$ s'exerçant sur une ailette pour les deux cas décrits (descente subsonique et descente supersonique). Faire l'application numérique.

Dans ce qui suit, nous étudierons le mécanisme de déploiement des ailettes **(Documents Ressources 6**, **8** et **9)**. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'axe 2 de ce mécanisme.

Question II.4 : Justifier le choix des deux types d'actionneurs pour mettre en mouvement l'axe 2 dans les deux phases distinctes que sont la phase de déploiement et la phase d'utilisation (phase 5 et respectivement phase 7 du **Document Ressource 1**).

Nous nous plaçons maintenant dans le cas de la figure 4 du **Document Ressource 9**. L'« arbre de transmission » (2) de l'axe 2 est solidaire de l'ensemble « moyeu central » (3).

Question II.5 : Déterminer le degré d'hyperstatisme du système en ne considérant qu'un vérin, comme représenté sur le schéma cinématique équivalent (Figure 4 du **Document Ressource 9**).

Question II.6 : Compléter le schéma cinématique dans le cahier réponse afin de rendre le système isostatique. Justifier votre proposition.

Question II.7 : En considérant que le système est maintenant isostatique, expliquer si le fait d'utiliser deux systèmes identiques (les vérins) en parallèle rend le système hyperstatique.

Nous souhaitons à présent valider le choix des roulements et des vérins lors de la phase de descente à contrôle aérodynamique. Pour cela, il est nécessaire de calculer le couple à reprendre pendant la manœuvre d'orientation des ailettes.

Question II.8 : À partir du **Document Ressource 11**, déterminer dans le repère de l'ailette l'expression de la position sur la corde de l'axe de rotation 2 (longueur $\boldsymbol{d_2}$) afin de minimiser le couple $\boldsymbol{C_v}$ que les deux vérins doivent générer. Faire l'application numérique.

Question II.9 : Donner l'expression du couple maximal $\boldsymbol{C_v}$. Faire l'application numérique.

La solution envisagée pour piloter la position angulaire des ailettes autour de l'axe 2 est d'utiliser des vérins hydrauliques. Un schéma hydraulique simplifié est donné dans le cahier réponse.

Question II.10 : Analyser le schéma hydraulique fourni, puis compléter le tableau du cahier réponse.

Le circuit hydraulique utilisé est en réalité plus complexe. Compte tenu de l'application (fusée évoluant dans l'espace), nous faisons l'hypothèse que le circuit est fermé (réservoir fermé) et rempli dans sa totalité d'un fluide considéré incompressible.

Question II.11 : En tenant compte de l'hypothèse précédente, donner et justifier le composant hydraulique qu'il est nécessaire d'ajouter pour assurer le fonctionnement correct du circuit hydraulique.

Partie III : Industrialisation de composants du mécanisme d'orientation des ailettes

Nous nous intéressons maintenant à la réalisation de certaines pièces qui entrent dans la constitution du mécanisme d'orientation des ailettes, notamment l'ensemble « moyeu central » et l'« arbre de transmission de l'axe 2 » (voir **Document Ressource 10**).

Le **Document Ressource 12** présente partiellement la constitution de l'ensemble appelé « moyeu central », ainsi que les formes et gabarits des composants. Dans la configuration présentée cet ensemble est obtenu par assemblage de composants fabriqués individuellement. Après une analyse multi-critérielle, nous souhaitons étudier la réalisation de la pièce « 2 - pièce de liaison » séparément, en respectant les fonctions et les formes associées, déduites du **Document Ressource 10** et du **Document Ressource 12.**

Question III.1 : Indiquer deux critères déterminants pour le choix d'un matériau compte tenu des particularités du système étudié dans ce sujet.

Question III.2 : Indiquer trois propriétés physiques et/ou aptitudes technologiques que le matériau doit satisfaire pour une réalisation du brut de cette pièce par un procédé de fonderie. Proposer un matériau adéquat en intégrant également les critères proposés en réponse à la question III.1.

On se propose d'étudier la fabrication de cette pièce en moulage en sable avec modèle permanent.

Question III.3 : Réaliser un croquis à main levée qui complète la figure dans le cahier réponse. Ce croquis doit contenir et indiquer (texte explicatif avec flèches), les éléments suivants :

- l'habillage de la pièce (modifications obligatoires à apporter aux formes, spécifiques aux procédés de fonderie)
- la disposition de la pièce par rapport au plan de joint
- l'orientation de la gravité par rapport au plan de joint
- les éléments constitutifs de la grappe (forme complète extraite du moule après solidification et refroidissement)
- les éléments constitutifs du moule et les outillages
- tous autres éléments aidant à la définition du procédé (étapes, directions de démoulage, etc.)

Question III.4 : Donner en complétant le tableau du cahier réponses trois défauts typiques des pièces obtenues par moulage en sable, les phénomènes physiques responsables et les règles ou moyens utiles pour les éviter.

Question III.5 : Donner l'avantage principal du procédé de moulage à modèle perdu par rapport au moulage en sable avec modèle permanent.

Question III.6 : Citer et décrire deux procédés d'obtention de brut capables de produire une pièce monobloc pour l'ensemble « moyeu central » présenté dans le **Document Ressource 12**. Préciser les avantages et inconvénients de ces procédés d'un point de vue technico-économique.

Nous nous intéressons à présent à la réalisation de l'arbre de transmission de l'axe 2. Un dessin de définition partiel est donné dans le **Document Ressource 13**. Cette pièce est réalisée par usinage et plus précisément en tournage sur un tour 3 axes à commande numérique de grandes dimensions étant donné la longueur de l'axe 2. Cette pièce est réalisée en acier dans un brut de forme cylindrique possédant déjà un alésage débouchant de diamètre $120\ \mathrm{mm}$ au centre.

Question III.7 : Illustrer au moyen de trois schémas les trois opérations d'usinage des surfaces élémentaires S1 : méplat, S2 : alésage intérieur et S3 : 8 trous taraudés. Vous représenterez les outils correctement orientés par rapport à la surface usinée ainsi que le nom et la trajectoire de chacun des outils pour réaliser l'entité.

Question III.8 : Préciser de quel(s) outillage(s) spécifique(s) doit-on disposer sur la machine-outil imposée ci-dessus, de manière à pouvoir réaliser convenablement les surfaces S1, S2 et S3.

Nous souhaitons réaliser la finition des diamètres $\boldsymbol{D} = 220{,}66\ \mathrm{mm}$ associés aux portées de roulement. Nous choisissons une plaquette avec un rayon de bec $\boldsymbol{r_\epsilon} = 0{,}2\ \mathrm{mm}$. La vitesse de coupe $\boldsymbol{V_c}$ est de $60\ \mathrm{m/min}$ et la vitesse d'avance $\boldsymbol{V_f}$ de $18\ \mathrm{mm/min}$.

Question III.9 : Donner l'expression de l'avance par tour notée $\boldsymbol{f}$ en fonction des paramètres précisés précédemment. Effectuer ensuite l'application numérique.

Question III.10 : En utilisant la figure présente dans le cahier réponse, donner l'expression de $\boldsymbol{h}$ (la hauteur entre la surface théorique et la surface réalisée) en fonction de $\boldsymbol{z}$. Nous nous intéressons seulement à $\boldsymbol{z}$ variant entre 0 et $\boldsymbol{f}/2$.

Question III.11 : Donner ensuite l'expression de $\boldsymbol{Rz}$, hauteur entre le pic le plus élevé et le creux le plus bas. Faire l'application numérique. Préciser quels sont les paramètres que nous pouvons modifier pour diminuer le $\boldsymbol{Rz}$.

L'état de surface à respecter est spécifié sur le dessin de définition partiel par le paramètre $\boldsymbol{Ra}$ et non le paramètre $\boldsymbol{Rz}$.

Question III.12 : En utilisant la figure du cahier réponse, donner l'expression mathématique de $\boldsymbol{Ra}$ en fonction des paramètres de la figure.

Une fois la pièce usinée, la valeur de $\boldsymbol{Ra}$ est mesurée à $0{,}007\ \mathrm{mm}$.

Question III.13 : Conclure au regard des spécifications du dessin de définition de l'arbre de transmission de l'axe 2 (**Document Ressource 13**).

Question III.14 : Donner un autre procédé que le tournage permettant d'obtenir la rugosité souhaitée. Décrire ce procédé.

Question III.15 : Donner un procédé de traitement thermique ou thermochimique permettant d'améliorer la dureté superficielle de l'arbre de transmission de l'axe 2 au niveau des portées de roulement. Expliquer le phénomène utilisé et le déroulement de ce procédé.

Maintenant que l'arbre de transmission de l'axe 2 est réalisé, nous souhaitons vérifier les spécifications géométriques suivantes :

	x 8 M 15	
— ⌀ 0,02 CZ	⌖ ⌀ 0,02 B A	⊥ 0,1 A

Question III.16 : Expliciter les spécifications géométriques à l'aide des « fiches GPS » du cahier réponse.

Question III.17 : En vous aidant des **Documents Ressources 10, 13** et **14**, préciser le besoin fonctionnel de chacune des spécifications précédentes.

Partie IV : Conception

Règles concernant les dessins à réaliser (questions IV.1 et IV.7) :
Parmi les contraintes que devront respecter les solutions constructives proposées dans les questions IV.1 et IV.7, les règles de tracé associées aux procédés de fabrication précisés devront s'appliquer. Les éléments normalisés dessinés par le candidat (roulements à billes, joints, vis, etc.) devront respecter au mieux les proportions. Si les conditions de montage et d'utilisation de ces éléments impliquent des types d'ajustements spécifiques, ceux-ci devront être précisés. De plus, l'ensemble des solutions proposées devra garantir le montage et le démontage du système.

Dans cette partie, nous nous intéressons à la conception des systèmes permettant de réaliser les étapes 1 à 3 du mécanisme de déploiement des ailettes (**Document Ressource 6**).

Nous analysons d'abord le système permettant de réaliser l'étape 1. Pour cela, nous utilisons le dispositif Frangibolt (famille FC8) présenté dans le **Document Ressource 15.** Ce dispositif permet dans un premier temps de maintenir l'ailette solidaire de la structure du lanceur pendant la phase de lancement. Lors de cette phase, les ailettes sont repliées, mais subissent des efforts dus aux forces de frottement de l'air qui tendent à les déployer. Dans un second temps, lors de la phase de retour, le dispositif Frangibolt permet de désolidariser l'ailette du lanceur. Le dispositif Frangibolt est partiellement représenté dans le cahier réponse par deux pièces : le corps chauffant et le cylindre en alliage à mémoire de forme.

Question IV.1 : En vous aidant du **Document Ressource 15**, compléter le dessin proposé dans le cahier réponse avec une solution constructive qui permet de désolidariser l'ailette de la structure. La solution doit respecter les contraintes suivantes :

- Garantir l'encastrement entre l'ailette et le fuselage (situation avant désengagement de l'ailette)
- L'élément de fixation doit être un goujon présentant une réduction de section locale ; cette pièce sert de fusible mécanique
- Le goujon doit être vissé dans la traverse de l'ailette
- Assurer le maintien en position du dispositif Frangibolt par rapport au fuselage
- Lorsque le dispositif Frangibolt est activé, aucun effort engendré par celui-ci ne doit être transmis au fuselage et à l'ailette
- Enfin, lors de la phase de rupture du goujon, aucune pièce ne doit rester libre de ses mouvements

Question IV.2 : Quel type de sollicitation conduit à la rupture du goujon ?

Nous voulons à présent dimensionner la section du goujon pour assurer sa rupture lors de l'activation du dispositif Frangibolt. Pour le matériau utilisé, la valeur de $\boldsymbol{R_m}$ est de $600\ \mathrm{N/mm^2}$. Pour garantir la rupture du goujon, nous devons utiliser un coefficient de sécurité $\boldsymbol{k} = 1{,}5$ sur la valeur de $\boldsymbol{R_m}$.

Question IV.3 : En vous aidant du **Document Ressource 15** et des données précédentes, donner l'expression analytique de la limite supérieure du diamètre du goujon au niveau de la restriction de section. Faire l'application numérique.

Question IV.4 : Sur la figure du cahier réponse, placer une croix bien visible au meilleur endroit entre les ailettes et la structure où il faut positionner le système de désengagement des ailettes. Justifier votre choix.

Nous nous intéressons maintenant à la réalisation de la motorisation de l'axe 1 permettant entre autres de réaliser les étapes 2 et 3 du **Document Ressource 6**.

La liaison pivot au niveau de l'axe 1 est réalisée avec deux paliers, un sur chacune des traverses de l'ailette (voir **Document Ressource 10** ; les paliers ne sont pas représentés).

Question IV.5 : Justifier le choix de paliers lisses sans collerette plutôt que des roulements pour la liaison pivot de l'axe 1 (entre les pièces « support de l'axe 1 » et « traverses de l'ailette »).

Question IV.6 : Citer deux matériaux usuels pour réaliser ce type de palier. Préciser les critères de dimensionnement de ces paliers lisses.

Le mécanisme permettant de mettre en mouvement une ailette autour de l'axe 1 est partiellement représenté dans le **Document Ressource 14**. Ce mouvement est réalisé par un vérin électrique (moteur + système vis / écrou à billes) suivi d'une biellette. La tige du vérin électrique est en liaison complète avec l'écrou à billes. Le vérin électrique est situé à l'intérieur de l'arbre de transmission de l'axe 2. Le vérin électrique utilisé est capable de reprendre des efforts axiaux assez importants et est donc composé de roulements ou butées à éléments roulants. La liaison entre la vis à billes et l'arbre moteur sera réalisée en concevant une pièce intermédiaire que l'on nommera « manchon ».

Question IV.7 : En vous aidant des **Documents Ressources 10** et **14**, représenter sur le **Dessin Réponse** une solution constructive pour la réalisation de chacune des fonctions suivantes :

1. Liaison entre la vis à billes et l'arbre du moteur permettant d'assurer :
   - La transmission de puissance entre l'arbre moteur et le manchon au moyen d'une clavette
   - La transmission de puissance entre le manchon et la vis à bille en utilisant une goupille
   - La mise en position relative du manchon par rapport à l'arbre moteur

- La mise en position relative de la vis à billes par rapport au manchon
- La fabrication des surfaces internes du manchon par tournage, perçage et mortaisage

2. Liaison plane à éléments roulants entre le manchon et l'ensemble {corps du vérin électrique + chapeau inférieur du vérin électrique} (**Document Ressource 14)** permettant d'assurer :
   - La reprise des efforts axiaux de la vis à billes
   - La mise en position des éléments roulants
   - Le réglage de la précharge sur les éléments roulants
   - La fabrication des surfaces externe du manchon par un tour 2 axes

3. Liaison glissière entre l'ensemble {écrou à billes + tige du vérin} et le corps du vérin permettant d'assurer :
   - Le maintien en position démontable pour obtenir une liaison complète entre l'écrou à billes et la tige du vérin
   - Le blocage en rotation de l'ensemble {écrou à billes + tige du vérin électrique} au moyen d'un lardon (pièce parallélépipèdique) et d'une rainure
   - La réalisation des surfaces du corps du vérin par tournage et mortaisage

4. Liaison encastrement entre le corps du vérin électrique et l'arbre de transmission de l'axe 2, au moyen du chapeau supérieur, permettant d'assurer :
   - La mise en position entre le corps du vérin électrique et le chapeau supérieur
   - Le maintien en position démontable de ces deux pièces
   - L'étanchéité entre la tige du vérin électrique et le chapeau supérieur

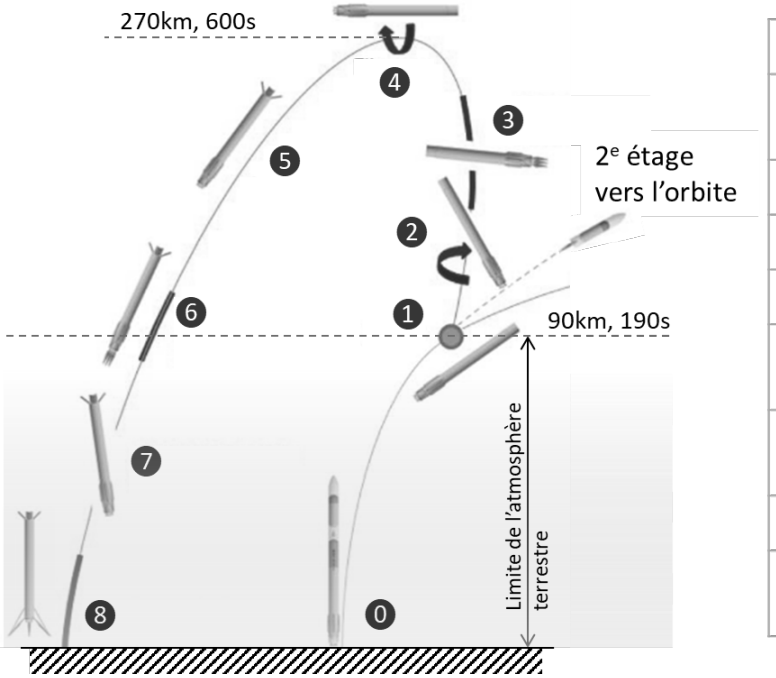
5. La liaison pivot entre l'arbre de transmission de l'axe 2 et le bâti permettant d'assurer :
   - La reprise d'efforts radiaux très important (>200 kN) et d'efforts axiaux conséquents (>20kN), avec un montage utilisant deux roulements ; un montage en symétrie (non représenté sur le dessin), situé sur la seconde portée de roulement de l'arbre de transmission de l'axe 2, complète la liaison pivot
   - L'arrêt axial des bagues extérieures des roulements
   - L'étanchéité des roulements en utilisant des joints adéquats

Fin de l'épreuve

IMPRIMERIE NATIONALE – 24 1017 – D'après documents fournis

RETALT1 – configuration de lanceur à étage principal réutilisable

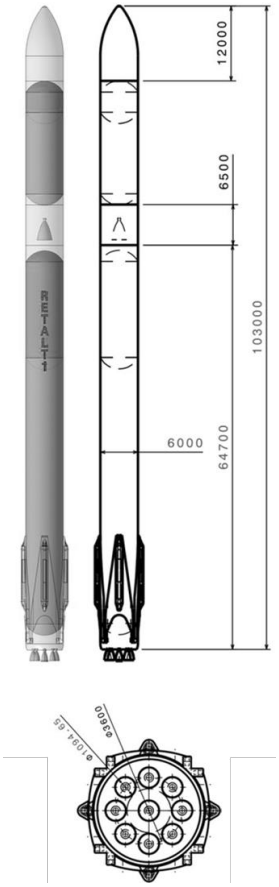
Les étapes d'une mission utilisant le lanceur RETALT, ainsi que les caractéristiques du lanceur lourd proposé sont décrites ci-dessous.



0	lancement
1	arrêt des moteurs de l'étage principal
2	basculement
3	rallumage / manœuvre de retour
4	basculement
5	déploiement des surfaces de contrôle aérodynamique (ailettes)
6	rétropropulsion à l'entrée dans l'atmosphère
7	descente à contrôle aérodynamique
8	freinage et atterrissage à rétropropulsion

RETALT1 : caractéristiques et configuration de la fusée

Caractéristique	1er étage	2e étage	Charge	Total
Nombre de moteurs	9	1	-	10
Hauteur [m]	71,2	19,8	12	103
Diamètre [m]	6,0	6,0	6,0	6,0
Masse totale [t] (la charge est dans la coiffe)	680	205	14	899
Masse de la structure [t]	50	17		67
Masse totale de propergol [t]	630	188		818
Propergol pour le retour [t]	50	0		50,0
Réserve de propergol [t]	7,5	2,5		10,0
Moteurs-fusées	RETALT1-LHLOX-E15-FS	RETALT1-LHLOX-E70-FS		
Engine Cycle	Gasgenerator	Gasgenerator		
Oxydant/Réducteur	LOX/LH2	LOX/LH2		
Expansion ratio	15	70		
Impulsion spécifique $I_{SP,SL}$ (niveau mer) [s]	372,2	294,4		
Impulsion spécifique I_{SPV} (vide) [s]	401,6	431,9		
Poussée au niveau de la mer P_{SL} [kN]	9x1179=10614	1x930=930		
Poussée dans l'espace P_V [kN]	9x1273=11453	1x1364=930		



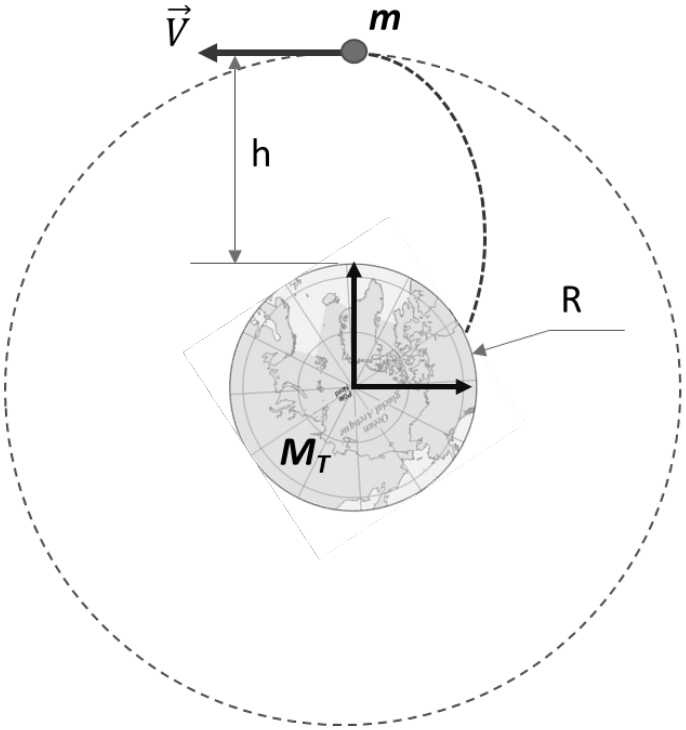
RETALT1 : Configuration de lanceur lourd capable d'amener une charge de 14t en orbite géostationnaire

Document Ressource 1

Tournez la page S.V.P.

Condition d'orbite stable

Pour qu'une charge utile de masse $\boldsymbol{m}$ évolue sur une orbite stable de hauteur $\boldsymbol{h}$ par rapport à la surface de la Terre, un équilibre dynamique doit être assuré (gravitation / forces d'inertie).



Loi de la gravitation :

$$\boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{m}\,\boldsymbol{M_T}\,G}{\boldsymbol{r^2}}$$

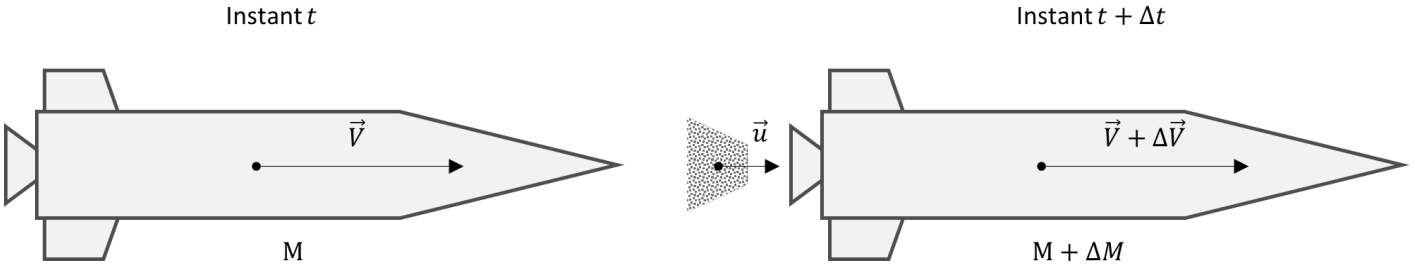
G = 6,67 × 10^{-11} N m^2 kg^{-2} ≅ $\frac{20}{3}$ × 10^{-11} N m^2 kg^{-2}

La Terre en quelques chiffres :			
Propriété	**Valeur**	**U.M.**	**Valeur pour l'application numérique**
Masse $\boldsymbol{M_T}$	5,973 x 10^{24}	kg	6 x 10^{24}
Rayon moyen $\boldsymbol{R}$	6 371	km	6 300
Volume	1,0832 x 10^{12}	km^3	1,1 x 10^{12}
Densité	5,513	g/cm^3	5,5
Gravité à la surface	9,80665	m/s^2	9,81 ou 10
Période de rotation	23h56'4''	s	86164
Vitesse de rotation	7,292 x 10^{-5}	rad/s	7 x 10^{-5}
Vitesse de Libération	1,119 x 10^4	m/s	1,12 x 10^4
Inclinaison de l'axe	23,4393	°	
Période de révolution	365,2569	jour	
Rayon moyen de son orbite	150 000 000	km	

Document Ressource 2

Dynamique d'une fusée (équation de Moore-Tsiolkovski-Oberth)

Afin d'étudier la dynamique d'un vol spatial, nous considérons ici une fusée qui n'est soumise à aucun effort extérieur, qui se propulse seule en translation rectiligne à l'aide d'un processus hautement énergétique (chimique pour les moteurs-fusées classiques) qui provoque une éjection des gaz à une certaine vitesse $\overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}$. Dans ce qui suit, les vitesses sont données par rapport au repère terrestre Rg (considéré comme galiléen), sauf précision dans le texte.



La figure présente le système « fusée » à deux instants successif t et $t + \Delta t$. A l'instant t la fusée de masse $\boldsymbol{M}$ possède une vitesse $\vec{\boldsymbol{V}}$ par rapport à un référentiel galiléen. A l'instant $t + \Delta t$ après, la fusée a une masse $\boldsymbol{M} + \Delta\boldsymbol{M}$ (avec $\Delta\boldsymbol{M} < \boldsymbol{0}$ en raison de la consommation de propergol) et une vitesse $\vec{\boldsymbol{V}} + \Delta\vec{\mathbf{V}}$. Une quantité $-\Delta\boldsymbol{M} > 0$ de gaz a été expulsée avec une vitesse $\overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}$ (vitesse relative entre le gaz et la fusée). Nous pouvons écrire la vitesse galiléenne du gaz éjecté : $\vec{\boldsymbol{u}} = \vec{\boldsymbol{V}} + \Delta\vec{\mathbf{V}} + \overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}$. L'intensité du vecteur $\overrightarrow{\boldsymbol{V_E}}$, notée $\boldsymbol{V_E}$ est négative ($\boldsymbol{V_E} < 0$).

Une forme équivalente à la deuxième loi de la dynamique (loi de Newton) stipule que pour un système isolé, qui n'est soumis à aucune force extérieure, la quantité de mouvement $\vec{\boldsymbol{p}} = \boldsymbol{m}\,\vec{\boldsymbol{V}}$ est conservée au cours de l'évolution du système.

$$\left.\frac{d\vec{\boldsymbol{p}}^{(\Sigma/Rg)}}{dt}\right|_{Rg} = \vec{0}$$

Pour un système de masse constante, il est facile de constater que cette formulation est équivalente à la deuxième loi de la dynamique de Newton. L'avantage principal de cette formulation est de pouvoir prendre en compte de manière simplifiée les systèmes dont la masse varie au cours de leur évolution.

Document Ressource 3

Tournez la page S.V.P.

Formules mathématiques usuelles

Formules trigonométriques usuelles

$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$	$\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$
$\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \sin(b)\cos(a)$	$\sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \sin(b)\cos(a)$
$\cos(2a) = 2\ \cos(a)^2 - 1 = 1 - 2\ \sin(a)^2 = \cos(a)^2 - \sin(a)^2$; $\sin(2a) = 2\ \sin(a)\cos(a)$	
$\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b))$	$\sin(a)\sin(b) = \frac{1}{2}(\cos(a-b) - \cos(a+b))$
$\sin(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\sin(a+b) + \sin(a-b))$	
$\cos(\arcsin(x)) = \sqrt{1-x^2}$	$\sin(\arccos(x)) = \sqrt{1-x^2}$

Aide au calcul

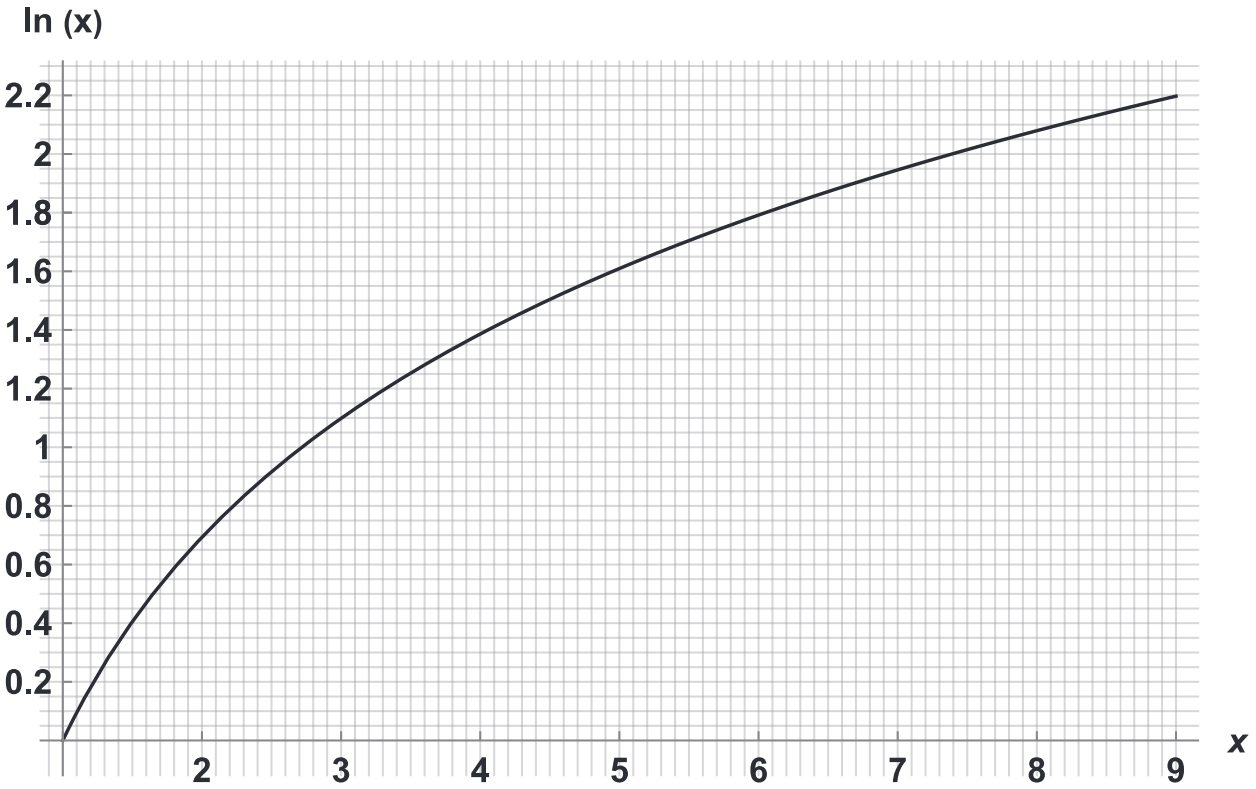
Expression	Valeur
$\cos\left(\frac{7\pi}{18}\right) = \sin\left(\frac{\pi}{9}\right)$	0,34
$\sin\left(\frac{7\pi}{18}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{9}\right)$	0,94

Primitives et opérations usuelles

Fonction $f(u(x))$	Primitive *F* (*à une constante près*)	Remarque(s)
$u(x)$ est dérivable sur un intervalle I, $u' = \frac{du}{dx}$		
$f = u'u^n \ \ (n \neq -1)$	$F = \frac{u^{n+1}}{n+1}$	*selon les valeurs de n*
$f = \frac{u'}{u^2}$	$F = -\frac{1}{u}$	*u ne s'annule pas sur I*
$f = \frac{u'}{\sqrt{u}}$	$F = 2\sqrt{u}$	$u > 0$
$f = \frac{u'}{u}$	$F = \ln u \ \ si\ u > 0$ $F = \ln(-u) \ \ si\ u < 0$	*étudier le signe de* $u(x)$
$f = u'\cos u$	$F = \sin u$	
$f = \frac{1}{a+b\,x}$	$F = \frac{\ln(a+b\,x)}{b}$	

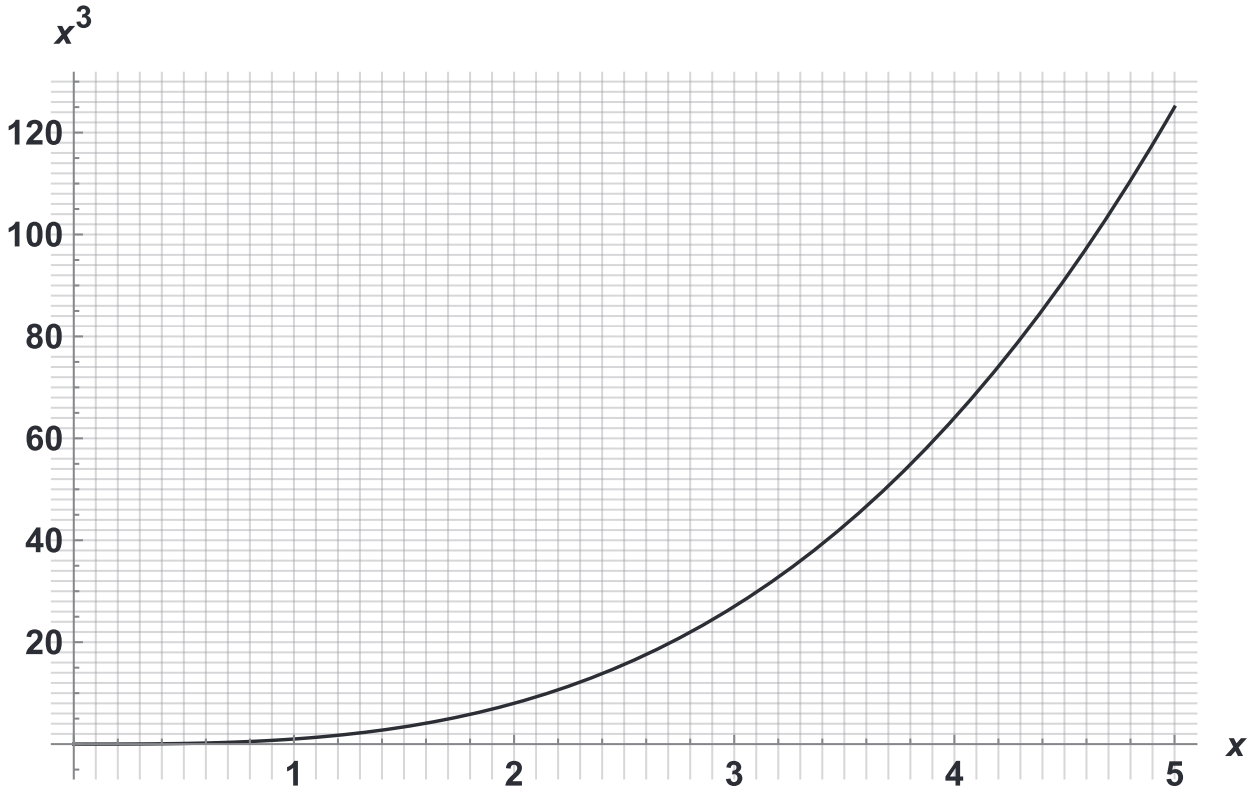
Document Ressource 4

Courbes et fonctions utiles pour les applications numériques



On rappelle les relations pour les logarithmes népériens :

$$\ln(a \times b) = \ln(a) + \ln(b) \qquad \ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$$



Document Ressource 5

Tournez la page S.V.P.

Mécanisme de déploiement des ailettes

Initialement les ailettes sont repliées sur la structure du lanceur (Figure 1.a). Elles sont dépliées en dehors de l'atmosphère lors de la phase 5 et sont utilisées uniquement durant la phase 7 (descente à contrôle aérodynamique). Pour déployer une ailette, le protocole suivant doit être effectué :

1. Désolidariser l'ailette de la structure en actionnant le dispositif Frangibolt (présenté dans le **Document Ressource 15**).
2. Actionner le moteur de l'axe 1 pour positionner l'ailette à 90° par rapport au lanceur (Figure 1.b).
3. Bloquer l'axe 1 dans la position représentée sur la figure 1.b. L'ailette ne possède alors plus qu'une seule mobilité, selon l'axe 2.
4. Actionner le second moteur pour faire tourner l'axe 2 de 90° afin de l'amener dans une position de référence (Figure 1.c et Figure 2.a).
5. Dans cette configuration, le « moyeu central » est rendu solidaire à l'« arbre de transmission de l'axe 2 » (voir **Document Ressource 10**).

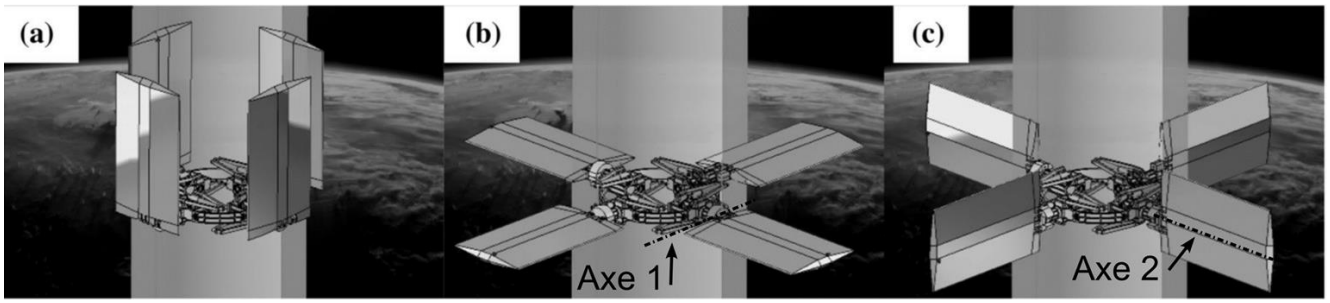


Figure 1 : Séquence de déploiement des ailettes

Une fois ces étapes effectuées, dans la phase de descente à contrôle aérodynamique, il est possible uniquement d'orienter l'ailette autour de l'axe 2 (angle α représenté sur Figure 2 et **Document Ressource 7**) en utilisant les deux vérins reliés au moyeu central (**Document Ressource 10**). L'angle α des ailettes est compris entre +20° (Figure 2.b) et -20° (Figure 2.c) autour de la position de référence (Figure 2.a), dans laquelle le plan de l'ailette est parallèle à l'axe de l'étage de fusée.

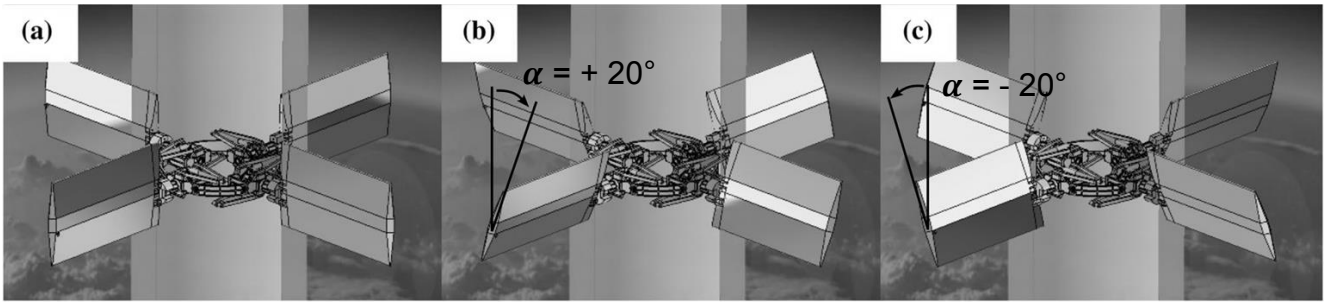


Figure 2 : Orientations possibles des ailettes autour de l'axe 2

Des détails des étapes 4 et 5 de la phase de déploiement (mouvement de l'axe 2) sont donnés dans les **Documents Ressources 8** et **9**.

Document Ressource 6

L'équilibre du premier étage en descente aérodynamique (phase 7 du Document Ressource 1)

Une fois déployées, les ailettes de l'étage principal se trouvent dans la position de référence représentée sur la figure 1 ci-dessous. Sur les figures 2 et 3 ci-dessous, l'axe $\vec{Z}$ (axe de l'étage de fusée) est aligné à la direction locale du champ gravitationnel (axe vertical par rapport à un repère terrestre). Nous représentons ici par convention le sens de l'angle de rotation de l'axe 2 du mécanisme de déploiement des ailettes (voir **Document Ressource 6**) dans un repère défini pour chaque ailette (exemple sur les figures 1, 2 et 3 : ailette A4). Les angles d'orientation des ailettes ($\boldsymbol{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4}$) varient entre +/- 20° autour de la position de référence.



Figure 1. Etage principal avec les aillettes déployées

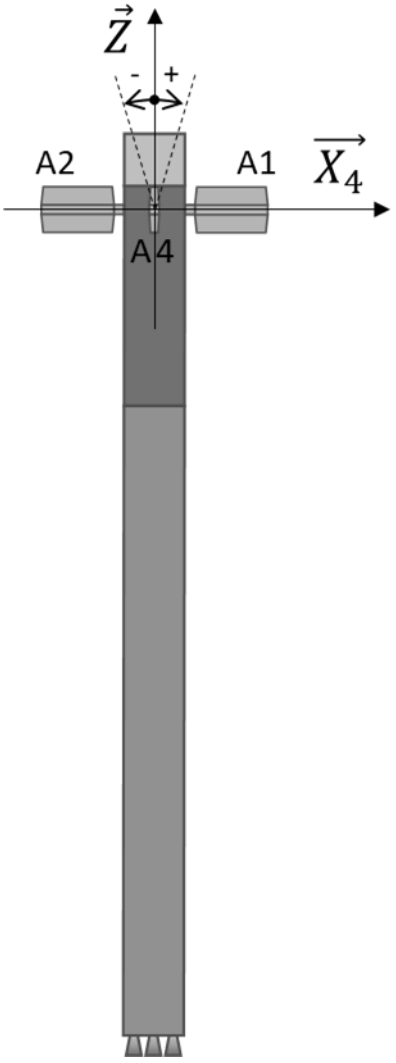


Figure 2. Sens de rotation pour une ailette. Exemple pris : A4

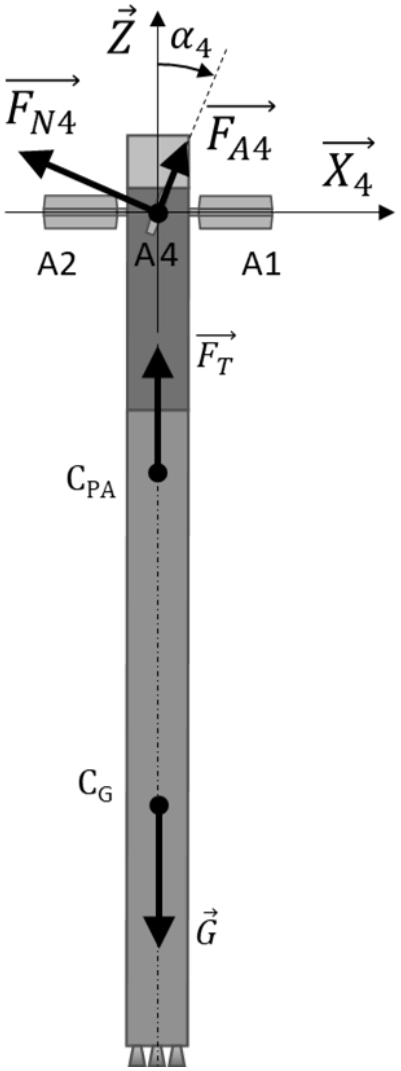


Figure 3. Configuration de descente : définition de l'angle $\boldsymbol{\alpha_4}$

$\boldsymbol{C_{PA}}$ et $\boldsymbol{C_G}$ représentent respectivement le centre de poussée aérodynamique et le centre de gravité. L'action de l'air sur une ailette peut être vue comme la somme d'une force normale $\boldsymbol{F_N}$ au plan médian de l'ailette et d'une force parallèle à celui-ci $\boldsymbol{F_A}$. Le rapport $\boldsymbol{F_A/F_N}$ est dépendant du régime d'écoulement (subsonique vs. supersonique) et de la forme de l'ailette. Pour le profil d'ailette utilisé, ce rapport est de 0,45 en régime subsonique et de 0,35 en régime supersonique.

Document Ressource 7

Tournez la page S.V.P.

Description du mécanisme de déploiement – (partie 1/2)

Le mécanisme permettant de déployer une ailette est constitué principalement de deux liaisons pivots (Figure 1). La liaison pivot entre (1) et (2) nommée Axe 1 permet de déployer l'ailette à 90° par rapport au corps du lanceur. La liaison pivot entre (0) et (2) nommée Axe 2 permet de contrôler la position de l'ailette pour diriger le lanceur.

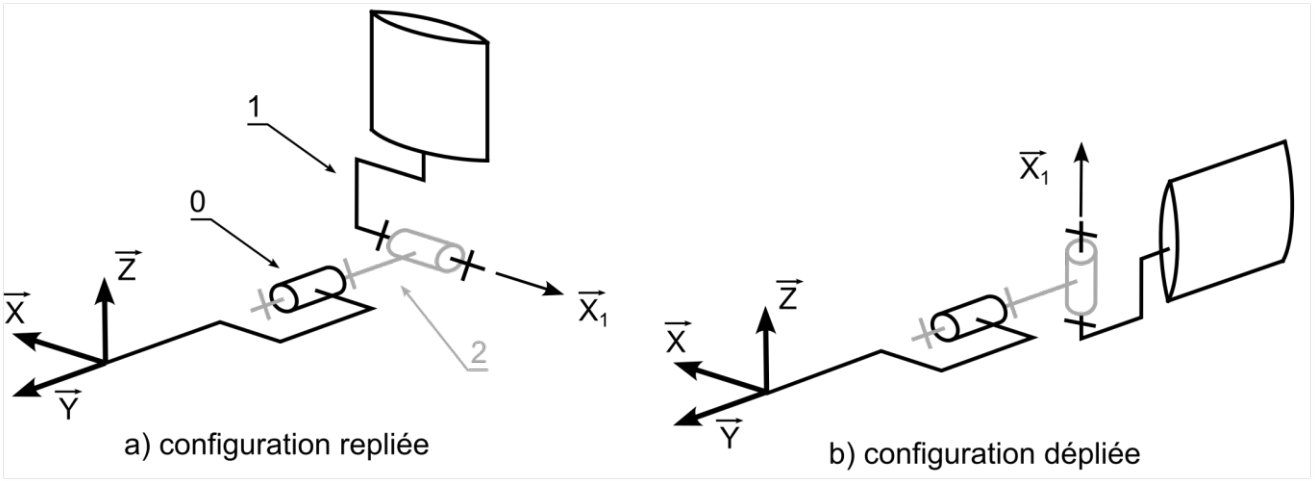


Figure 1 : Schéma cinématique simplifié
La figure a) correspond à la position visible sur la figure 1.a du **Document Ressource 6**.
La figure b) correspond à la position visible sur la figure 2.a du **Document Ressource 6.**

La rotation autour de l'axe 2 est effectuée en deux temps. Pour des questions de lisibilité, seul un vérin est représenté, l'autre étant positionné de manière symétrique.

Dans un premier temps, le vérin (5+6) est maintenu dans la position représentée sur la figure 2. La liaison pivot entre (3) et (4) est actionnée par un moteur afin que le pignon (4) entraine l'arbre de transmission de l'axe 2 et la roue dentée d'indexage supérieure (2). Ce mouvement de rotation permet de tourner l'ailette de 90° autour de l'axe 2 et conduit à la configuration de la Figure 3.

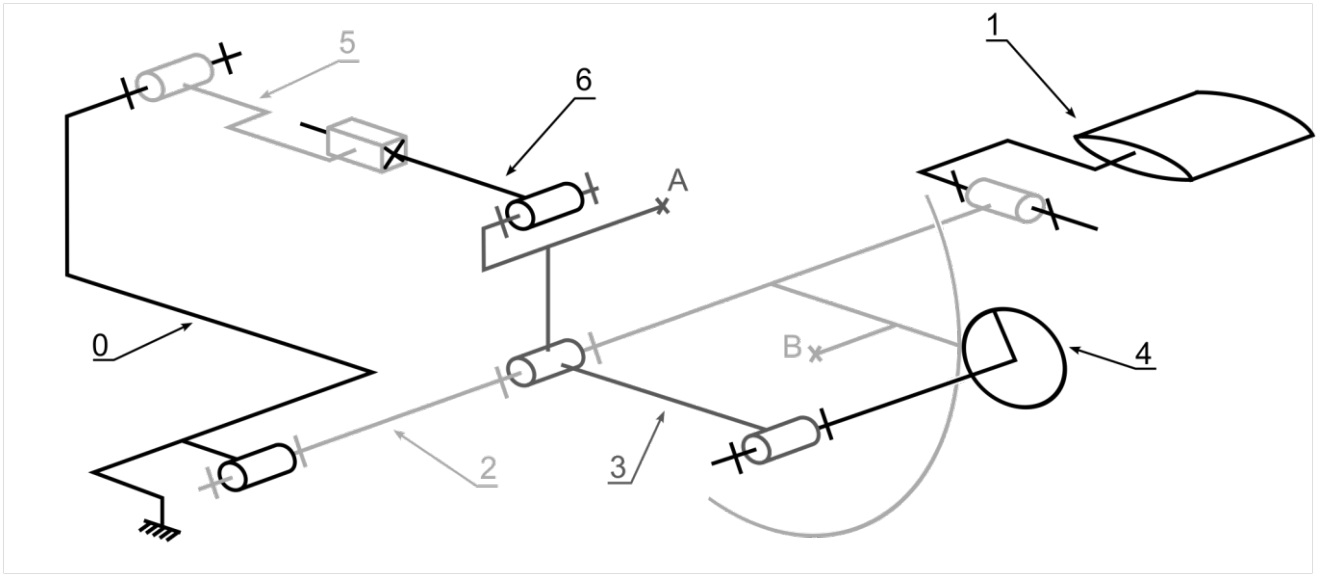


Figure 2 : Schéma cinématique en configuration en cours de déploiement (l'axe 1 est déplié)

Document Ressource 8

Description du mécanisme de déploiement – (partie 2/2)

Dans cette position (Figure 3), un mécanisme d'indexation est enclenché et rend solidaire les classes d'équivalence (2) et (3) au niveau des points A et B.

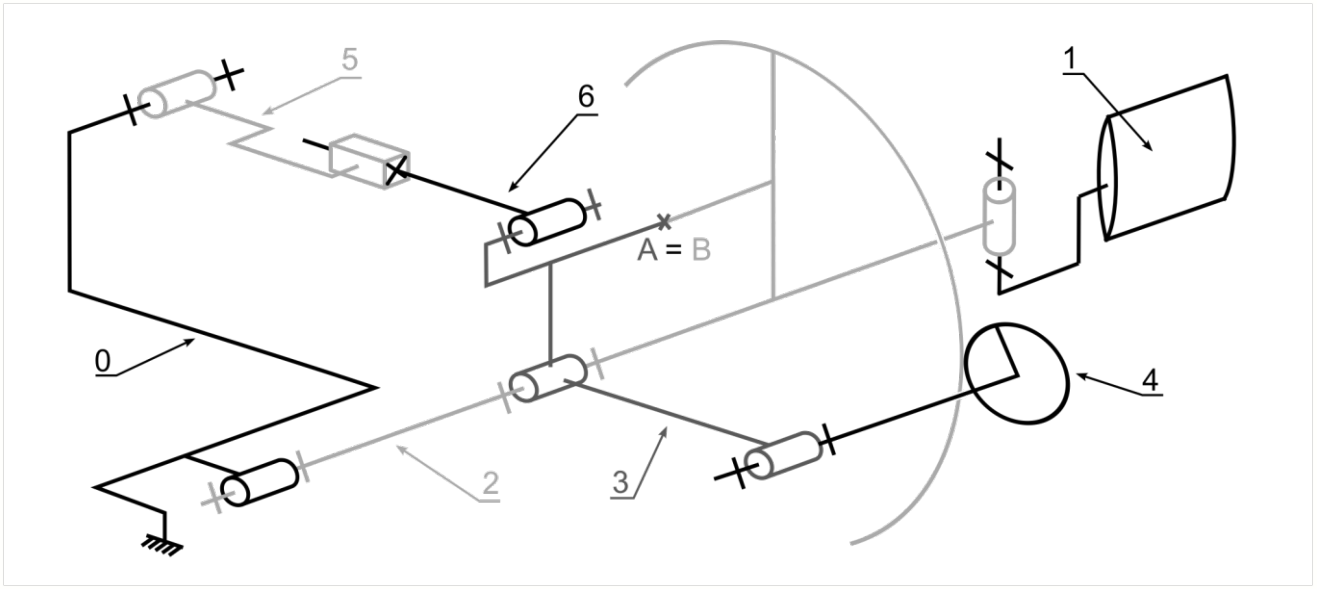


Figure 3 : Schéma cinématique en configuration dépliée

Le schéma cinématique précédent peut être simplifié étant donné l'encastrement entre les classes d'équivalence (2) et (3). Le schéma cinématique équivalent est représenté en figure 4. Ainsi, lors de la phase de descente à contrôle aérodynamique, le vérin (5+6) est utilisé pour piloter la position angulaire de l'ailette.

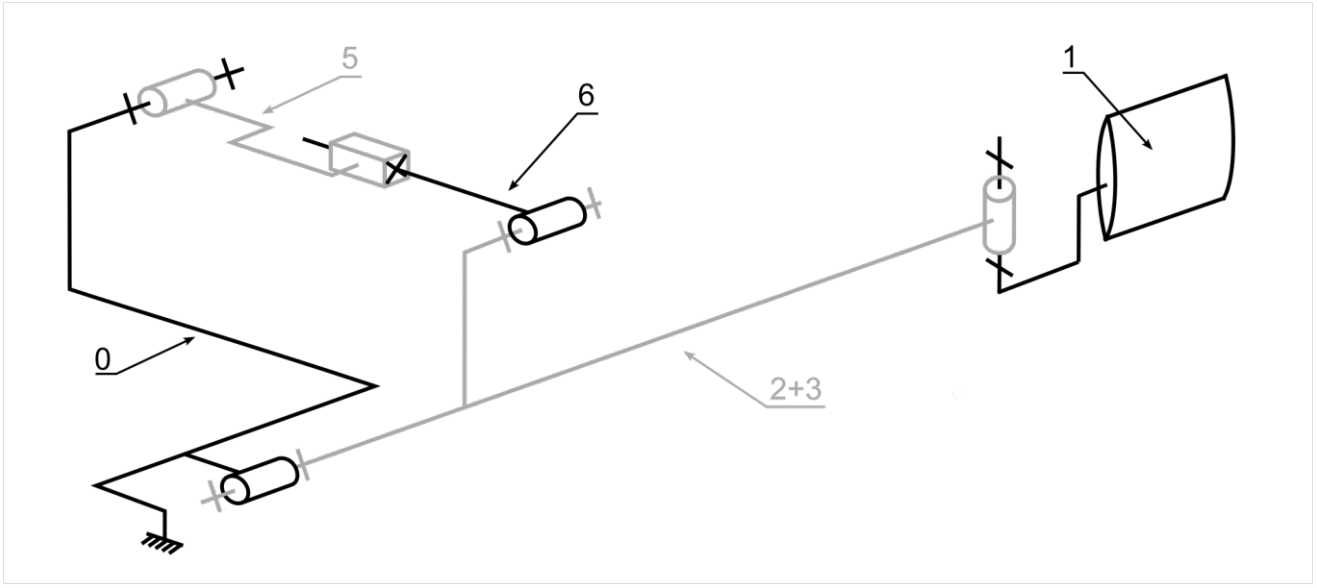


Figure 4 : Schéma cinématique équivalent

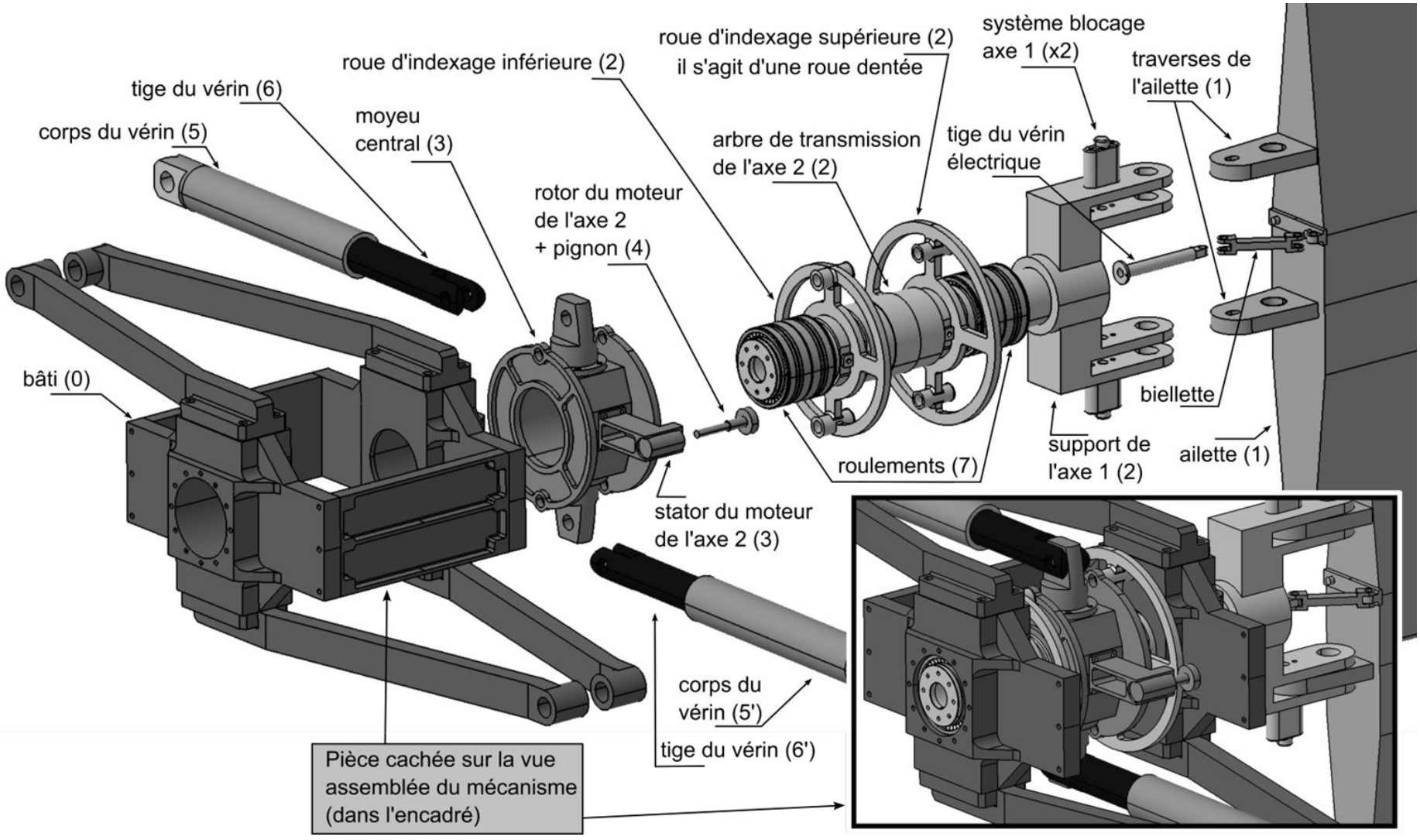
Document Ressource 9

Tournez la page S.V.P.

Document Ressource 10

Vue en éclaté du mécanisme d'orientation d'une ailette

Cette vue en éclaté ne présente pas tous les composants et certains sont simplifiés pour des questions de lisibilité.
La partie encadrée représente la vue du mécanisme assemblé.



Efforts agissant sur les ailettes

Les ailettes ont un profil hexagonal avec une longueur de corde $\boldsymbol{L_c} = 3\ \mathrm{m}$ et une longueur de l'ailette de $5\ \mathrm{m}$, perpendiculaire au plan de la Figure 1.

En régime subsonique, la force normale maximale sur l'ailette est de $\boldsymbol{F_{sub}} = \mathbf{180}\ \mathrm{kN}$ (exercée selon l'axe $\vec{Z}$ du repère local de l'ailette représenté dans la Figure 1), tandis qu'en régime supersonique, cette force normale maximale est de $\boldsymbol{F_{super}} = \mathbf{350}\ \mathrm{kN}$. Ces valeurs sont calculées en considérant les cas les plus défavorables. Ces forces s'exercent au centre de pression qui varie d'un emplacement de 20 % de la corde pour le régime subsonique (position $\boldsymbol{P_{sub}}$), à 40 % de la corde pour le régime supersonique (position $\boldsymbol{P_{super}}$).

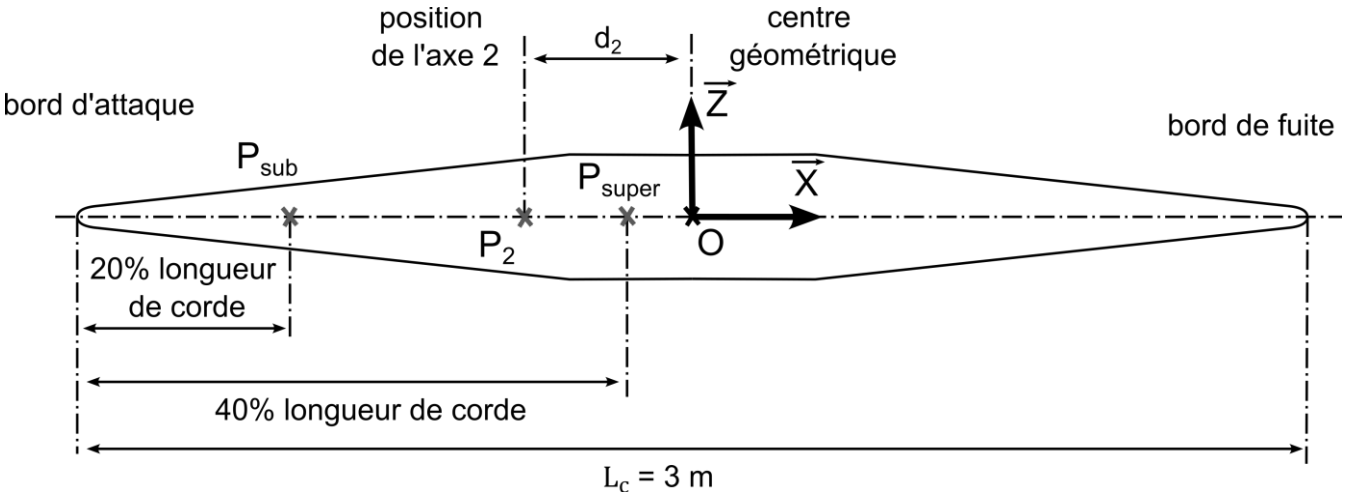
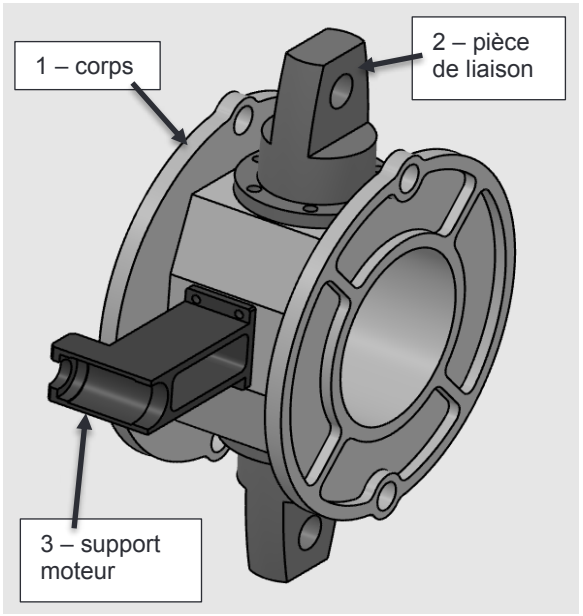


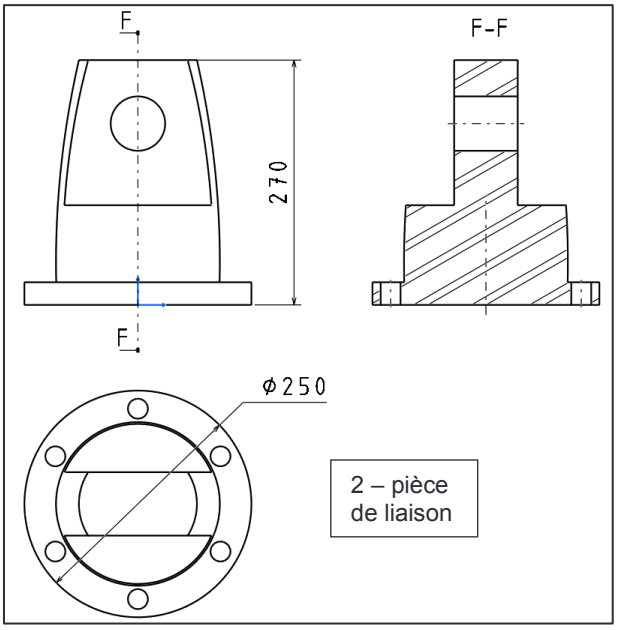
Figure 1 : Vue de profil de l'ailette

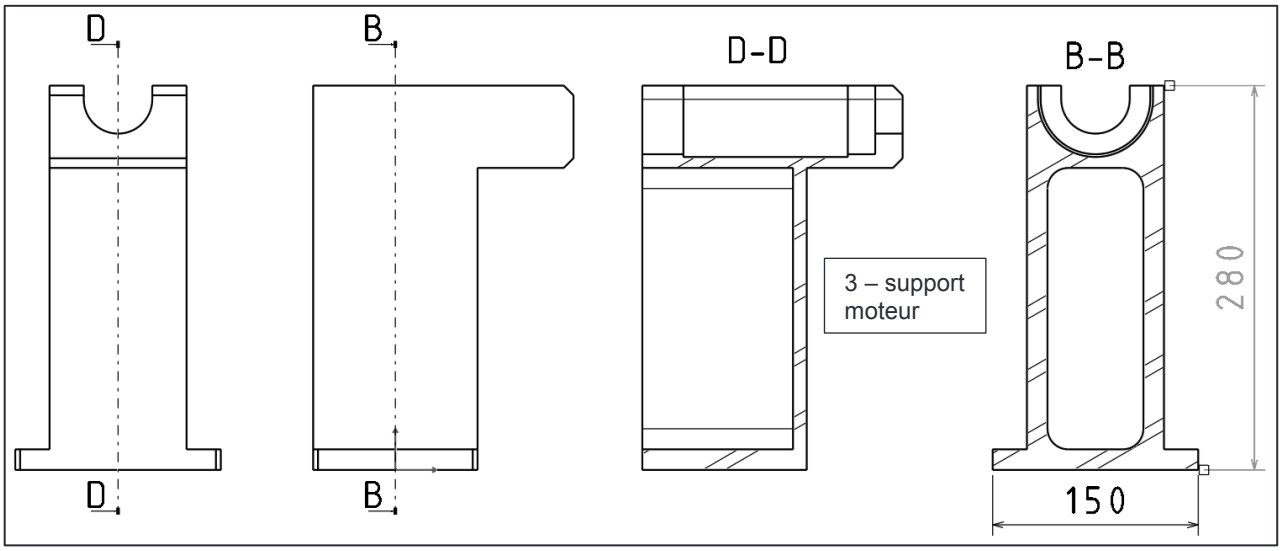
Document Ressource 11

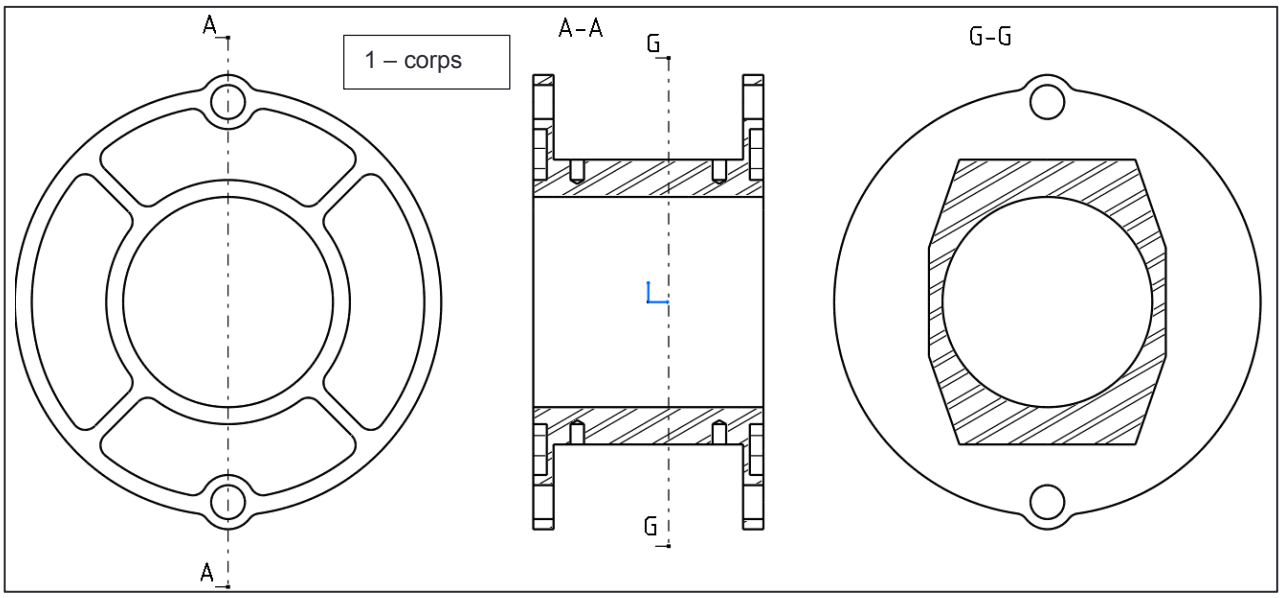
Tournez la page S.V.P.

Constitution de l'ensemble « moyeu central »

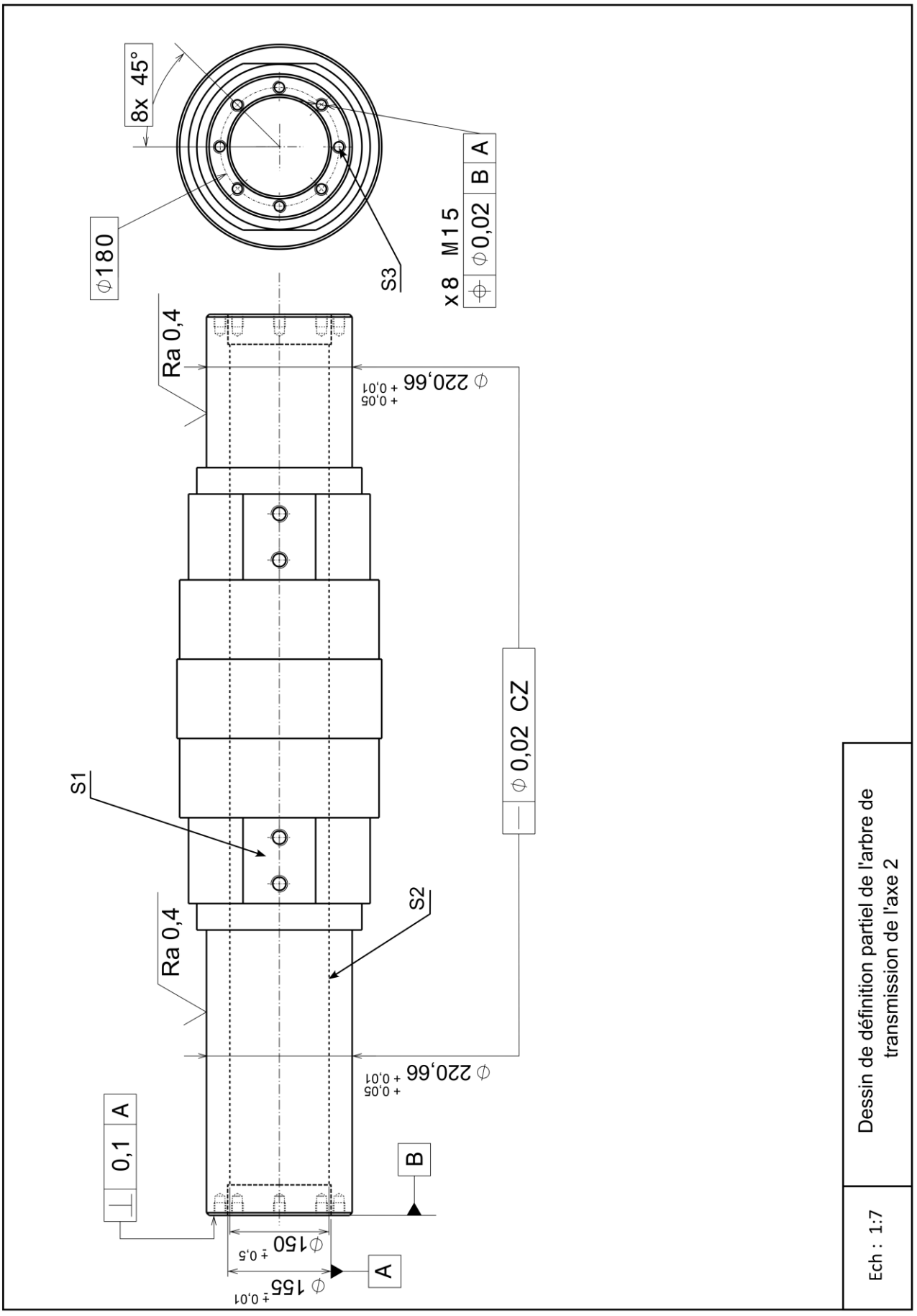








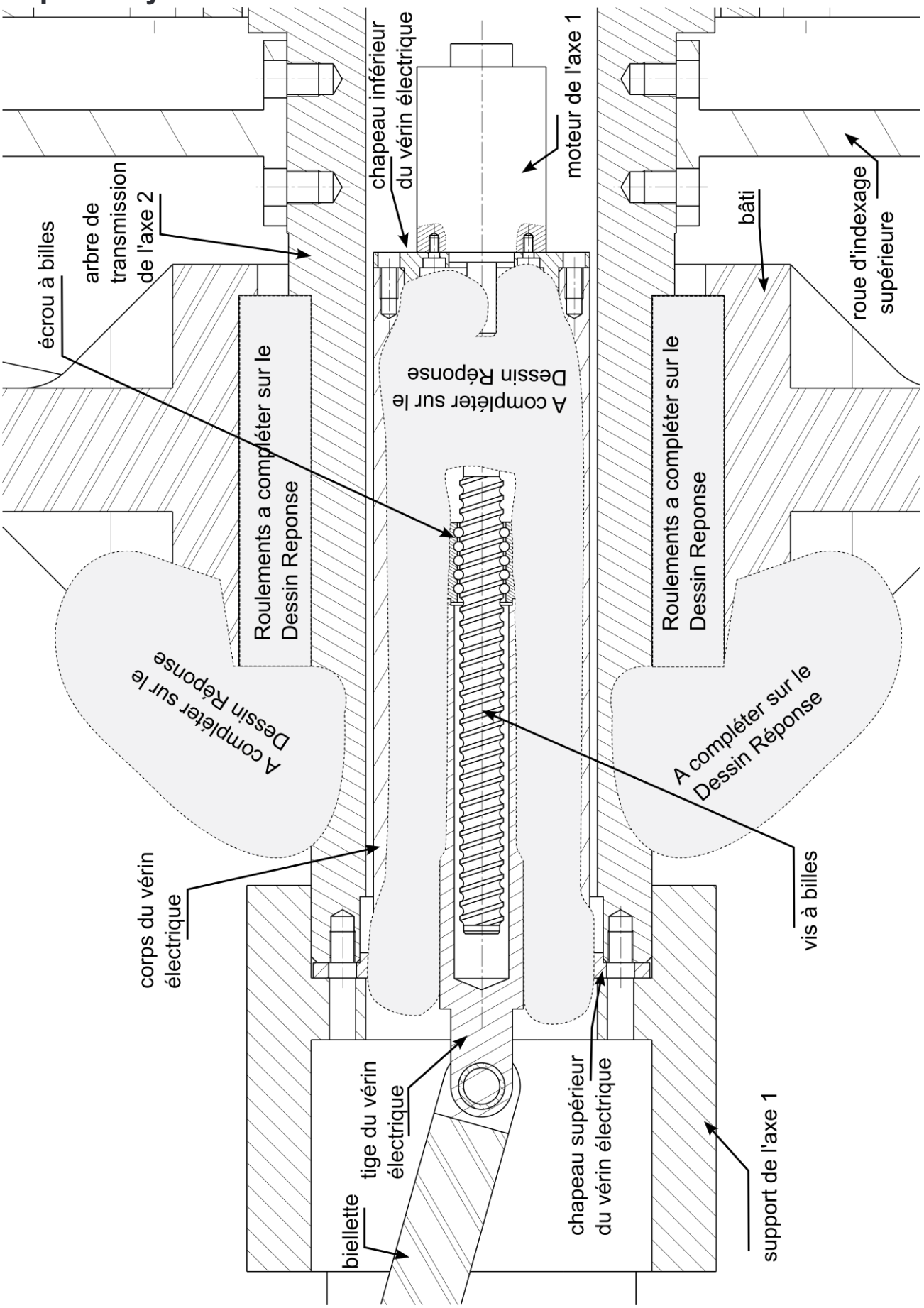
Document Ressource 12



Document Ressource 13

Tournez la page S.V.P.

Coupe du système au niveau de l'actionneur de l'axe 1



Pour des questions de lisibilité, les vis ne sont pas représentées et certains composants sont simplifiés.

Document Ressource 14

Dispositif Frangibolt

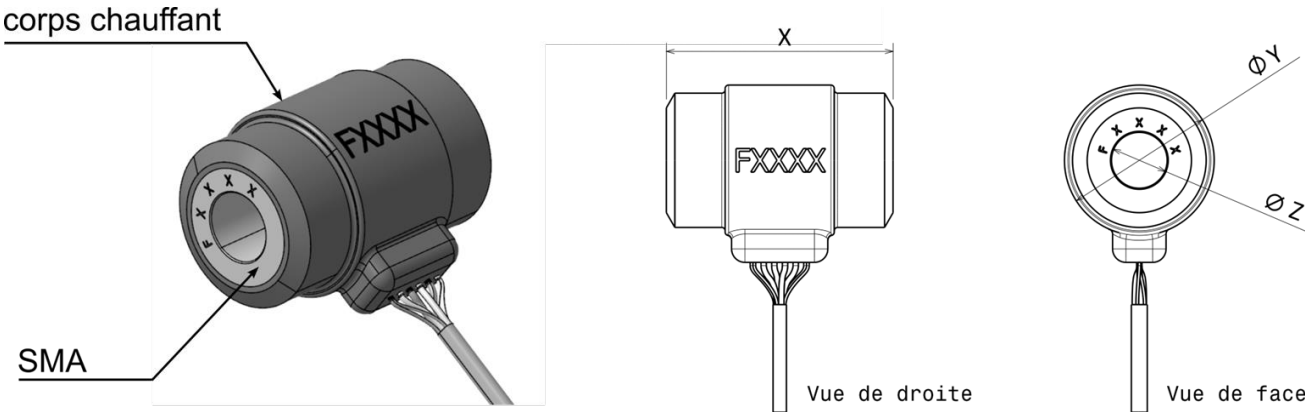
Les dispositifs Frangibolt ® sont utilisés dans les applications aérospatiales pour fournir un moyen de séparation non pyrotechnique, simple et efficace entre deux composants ou structures. Ces dispositifs compacts permettent une flexibilité dans la conception.

Principe de fonctionnement

Le mécanisme est activé lorsque le cylindre en alliage à mémoire de forme (SMA = *Shape Memory Alloy*) est chauffé par le corps chauffant. Le cylindre SMA se dilate alors selon la direction de la cote ***X***. Un élément de fixation placé à l'intérieur du cylindre SMA, en liaison complète avec ce dernier, est sollicité par cette dilatation. En raison d'une réduction de section locale de l'élément de fixation, la contrainte induite par la dilatation du cylindre SMA conduit à la rupture de l'élément de fixation. Cela permet d'obtenir la séparation de deux ou plusieurs composants.

Spécifications techniques des dispositifs Frangibolt

Famille d'actionneur	**FC4**		**FC6**		**FC8**	**FB12**
Masse	55 g		110 g		175 g	350 g
Puissance	80 W	111 W	112 W	143 W	105 W	145 W
Tension d'alimentation	22-36 V	95-105 V	22-36 V	95-105 V	28-41 V	26-32,5 V
Courant nominal	2,9 A	1,1 A	4 A	1,4 A	4,8 A	5 A
Résistance	9,7±1,5 Ω	90±9 Ω	7±1 Ω	70±7 Ω	7,5±1 Ω	5,8±4 Ω
Effort maximal généré F_{max}	15 123 N		26 689 N		42 002 N	116 543 N
Temps nécessaire pour générer F_{max}	35 s	25 s	60 s	40 s	80 s	Contactez-nous
Durée de vie (minimum)	60 cycles					32 cycles
Longueur compressée (X)	37 mm		49 mm		54 mm	62,5 mm
Diamètre extérieur (Y)	24,1 mm		31,1 mm		35,6 mm	50,1 mm
Diamètre intérieur (Z)	6,5 mm		9,7 mm		13,2 mm	19,3 mm



Document Ressource 15

Cahier réponse
Épreuve de Sciences Industrielles C

AVERTISSEMENT

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques, les règles à calculs, les téléphones portables…

INSTRUCTIONS

- Remplir sur chaque copie A3 en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.
- **Une feuille, dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.**
- **Vérifiez que votre cahier réponse comporte le nombre de pages indiqué et qu'il est correctement imprimé.**
- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à encre foncé : bleue ou noire. Le crayon-mine et autres couleurs peuvent être utilisés uniquement dans les schémas.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est interdit.
- **À la fin de l'épreuve, rendre toutes les pages dans l'ordre mêmes celles non renseignées. Toute réclamation ultérieure ne pourra pas être prise en compte.**
- Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Tournez la page S.V.P

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

Question I.1 : *Déduire l'expression de la vitesse nécessaire $\boldsymbol{V}$ en fonction de la hauteur $\boldsymbol{h}$ d'une orbite circulaire stable. Calculer cette vitesse pour une charge utile $\boldsymbol{m}$ à placer sur une orbite de hauteur $\boldsymbol{h} = 1700\ km.$*

Question I.2 : *Donner l'expression et la valeur numérique de l'énergie mécanique totale (énergie potentielle + énergie cinétique) qu'une masse $\boldsymbol{m} = 10\ t$ doit gagner pour être placée sur une orbite de hauteur $\boldsymbol{h} = 1700\ km.$*

Question I.3 : *En supposant que 60% de l'énergie dégagée par le propergol est réellement convertie en énergie mécanique, calculer la masse totale de propergol nécessaire pour produire l'énergie calculée à la question I.2. Comparer le résultat avec les caractéristiques de la fusée (Document Ressource 1) et expliquer la différence en critiquant le raisonnement proposé.*

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Question I.4 : *(Equation de Moore-Tsiolkovski-Oberth) En utilisant les considérations du Document Ressource 3, prouver que :* $\boldsymbol{M\ \Delta\vec{V} = \overrightarrow{V_E}\ \Delta M}$

Question I.5 : *Partant la relation proposée à la question I.4, des notations et considérations présentées dans le sujet ainsi que des aide-mémoires et graphiques des Documents Ressources 4 et 5, prouver que :* $\boldsymbol{\Delta V = V_f - V_i = -V_E\ ln\ \frac{M_i}{M_f}}$

Question I.6 : *Partant des relations proposées précédemment, donner les expressions des vitesses finales de la charge utile (à l'épuisement de la totalité de propergol), pour les deux configurations A et B présentées dans le sujet.*

Question I.7 : *Partant des relations déduites à la question précédente, donner une évaluation numérique de la vitesse finale de la charge utile dans les deux configurations A et B. A partir des résultats obtenus, justifier l'intérêt des fusées à deux étages par rapport aux fusées à un seul étage.*

Question II.1 : *Expliquer en proposant aux moins deux arguments pourquoi les phases 5 et 6 du Document Ressource 1 se déroulent avant l'entrée dans l'atmosphère.*

Question II.2 : *Quelles sont les positions angulaires* $\boldsymbol{\alpha_1}$, $\boldsymbol{\alpha_2}$, $\boldsymbol{\alpha_3}$ *et* $\boldsymbol{\alpha_4}$ *des ailettes permettant de générer un freinage maximum ? Compléter le tableau suivant et expliquer votre raisonnement.*

$\boldsymbol{\alpha_1}$	$\boldsymbol{\alpha_2}$	$\boldsymbol{\alpha_3}$	$\boldsymbol{\alpha_4}$

Question II.3 : *Donner l'expression analytique de l'effort normal F_N s'exerçant sur une ailette pour les deux cas décrits (descente subsonique et descente supersonique). Faire l'application numérique.*

Question II.4 : *Justifier le choix des deux types d'actionneurs pour mettre en mouvement l'axe 2 dans les deux phases distinctes que sont la phase de déploiement et la phase d'utilisation (phase 5 et respectivement phase 7 du Document Ressources 1).*

Question II.5 : *Déterminer le degré d'hyperstatisme du système en ne considérant qu'un vérin, comme représenté sur le schéma cinématique équivalent (Figure 4 du Document Ressource 9).*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

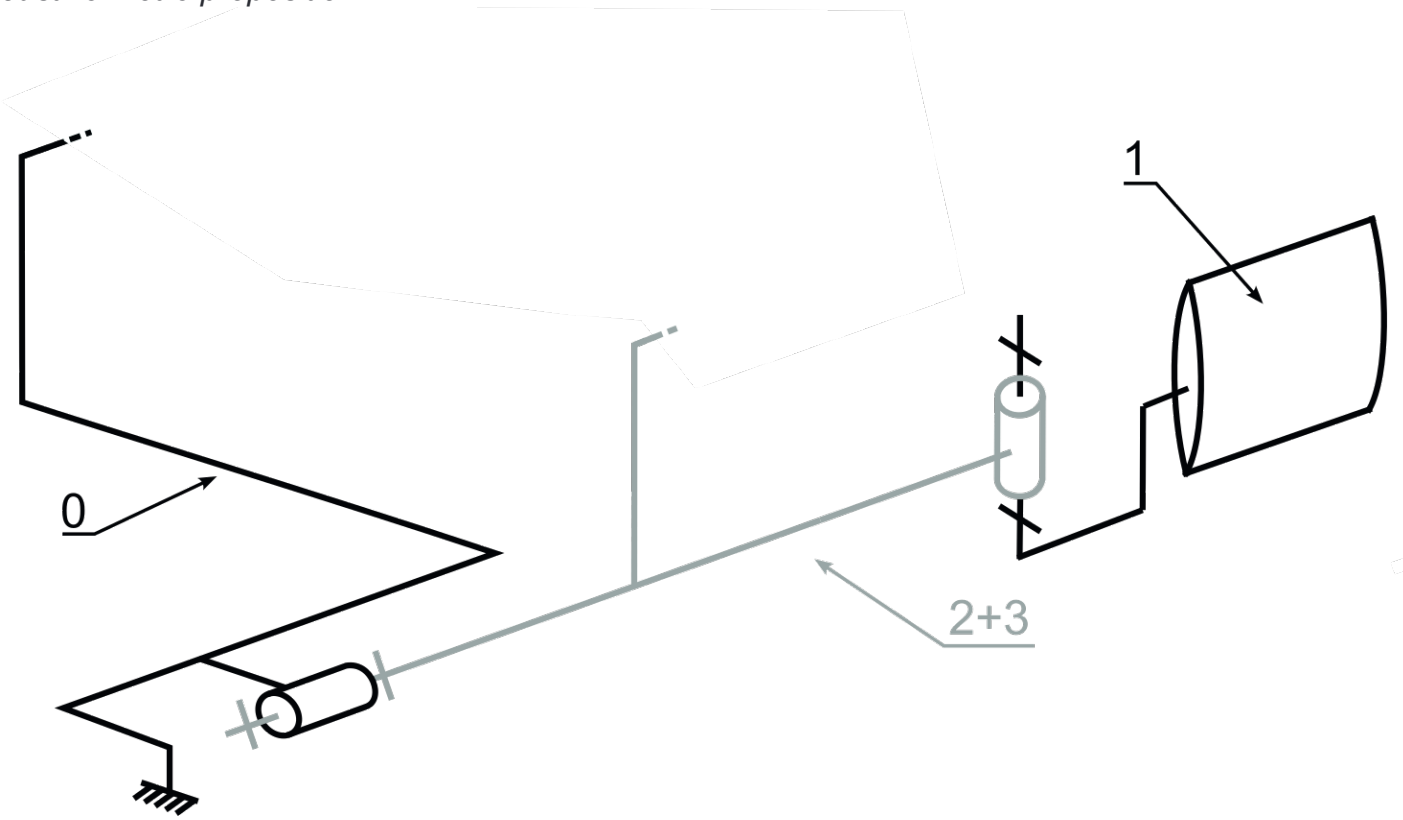
Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

Question II.6 : *Compléter le schéma cinématique suivant afin de rendre le système isostatique. Justifier votre proposition.*



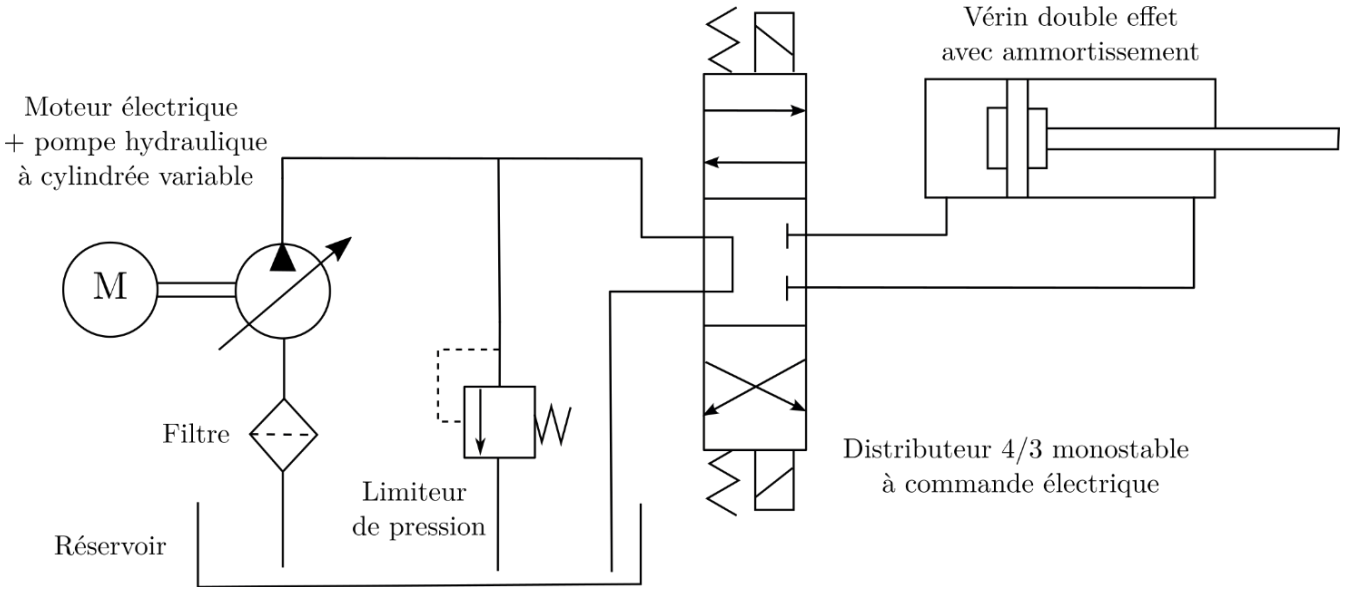
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Question II.7 : *En considérant que le système est maintenant isostatique, expliquer si le fait d'utiliser deux systèmes identiques (les vérins) en parallèle rend le système hyperstatique.*

Question II.8 : *À partir du Document Ressource 11, déterminer dans le repère de l'ailette l'expression de la position sur la corde de l'axe de rotation 2 (longueur d_2) afin de minimiser le couple C_v que les deux vérins doivent générer. Faire l'application numérique.*

Question II.9 : *Donner l'expression du couple maximal C_v. Faire l'application numérique.*

Question II.10 : *Analyser le schéma hydraulique, puis compléter le tableau ci-dessous :*



Rôle de la pompe hydraulique à cylindrée variable :	*Signification du terme « cylindrée variable » :*
Rôle du distributeur :	*Analyse du choix d'un distributeur 4/3 :*
Rôle du limiteur de pression :	

Question II.11 : *En tenant compte de l'hypothèse explicitée dans le sujet, donner en justifiant le composant hydraulique qu'il est nécessaire d'ajouter pour assurer le fonctionnement correct du circuit hydraulique.*

Question III.1 : *Indiquer deux critères déterminants pour le choix d'un matériau compte tenu des particularités du système étudié dans ce sujet.*

Question III.2 : *Indiquer trois propriétés physiques et/ou aptitudes technologiques que le matériau doit satisfaire pour une réalisation du brut de cette pièce par un procédé de fonderie. Proposer un matériau adéquat, en intégrant également les critères proposés en réponse à la question III.1.*

Question III.3 : *Réaliser un croquis à main levée qui complète la figure dans le cahier réponse. Ce croquis doit contenir et indiquer (texte explicatif avec flèches), les éléments précisés dans le sujet.*



Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

Question III.4 : *Donner en complétant le tableau ci-dessous trois défauts typiques des pièces obtenues par moulage en sable, les phénomènes physiques responsables et les règles ou moyens utiles pour les éviter.*

Défaut typique	*Phénomène physique responsable*	*Règles ou moyens utiles pour l'éviter*

Question III.5 : *Donner l'avantage principal du procédé de moulage à modèle perdu par rapport au moulage en sable avec modèle permanent.*

Question III.6 : *Citer et décrire deux procédés d'obtention de brut capables de produire une pièce monobloc pour l'ensemble « moyeu central » présenté dans le Document Ressource 12. Préciser les avantages et inconvénients de ces procédés d'un point de vue technico-économique*

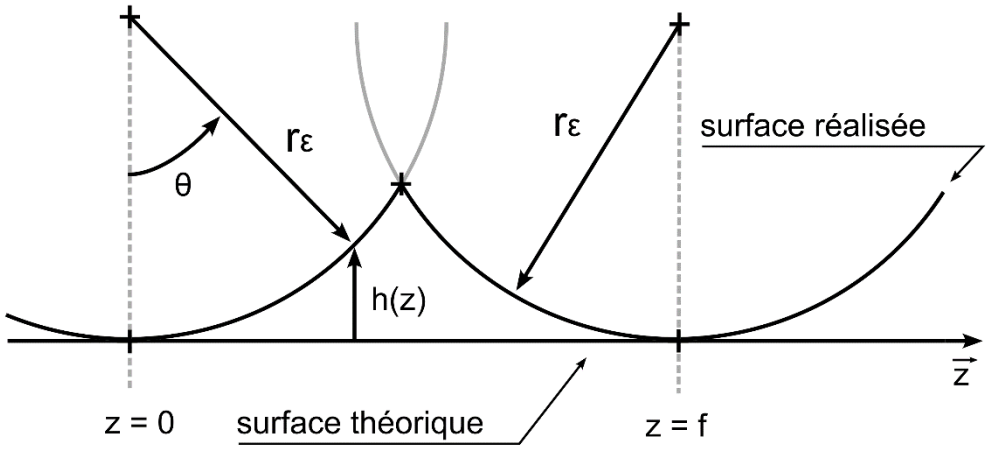
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Question III.7 : *Illustrer au moyen de trois schémas les trois opérations d'usinage des surfaces élémentaires S1 : méplat, S2 : alésage intérieur et S3 : 8 trous taraudés. Vous représenterez les outils correctement orientés par rapport à la surface usinée ainsi que le nom et la trajectoire de chacun des outils pour réaliser l'entité.*

Question III.8 : *Préciser de quel(s) outillage(s) spécifique(s) doit-on disposer sur la machine-outil imposée dans le sujet, de manière à pouvoir réaliser convenablement les surfaces S1, S2 et S3.*

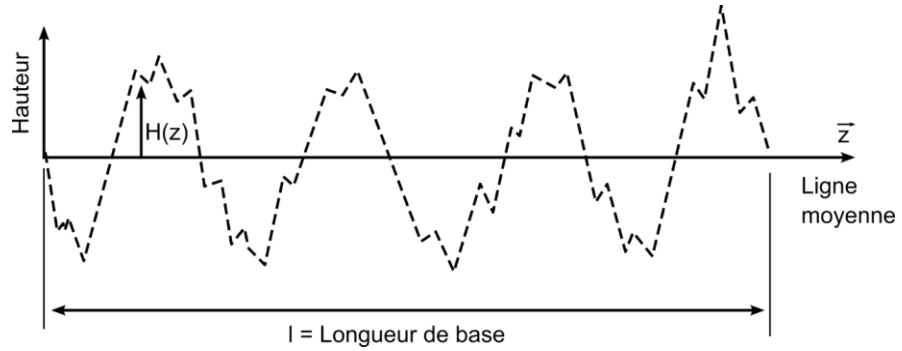
Question III.9 : *Donner l'expression de l'avance par tour notée* f *en fonction des paramètres précisés précédemment. Effectuer ensuite l'application numérique.*

Question III.10 : *En utilisant la figure ci-dessous, donner l'expression de* h *(la hauteur entre la surface théorique et la surface réalisée) en fonction de* z*. Nous nous intéressons seulement à* z *variant entre 0 et* $f/2$*.*



Question III.11 : *Donner ensuite l'expression de* Rz*, hauteur entre le pic le plus élevé et le creux le plus bas. Faire l'application numérique. Préciser quels sont les paramètres que nous pouvons modifier pour diminuer le* Rz*.*

Question III.12 : *En utilisant la figure ci-dessous, donner l'expression mathématique de* $\boldsymbol{Ra}$ *en fonction des paramètres de la figure.*



Question III.13 : *Conclure au regard des spécifications du dessin de définition de l'arbre de transmission de l'axe 2 (Document Ressource 13).*

Question III.14 : *Donner un autre procédé que le tournage permettant d'obtenir la rugosité souhaitée. Décrire ce procédé.*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

Question III.15 : *Donner un procédé de traitement thermique ou thermochimique permettant d'améliorer la dureté superficielle de l'arbre de transmission de l'axe 2 au niveau des portées de roulement. Expliquer le phénomène utilisé et le déroulement de ce procédé.*

Question III.16 : *Expliciter les spécifications géométriques à l'aide des « fiches GPS » des pages suivantes.*

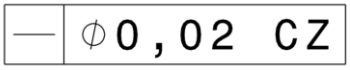
Question III.17 : *En vous aidant des Documents Ressources 10, 13 et 14, préciser le besoin fonctionnel de chacune des spécifications précédentes.*

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance	
Type de Spécification Forme Orientation Position Battement	**Elément(s) non idéal(aux)** extrait(s) du "Skin Modèle"	
	Elément(s) Tolérancé(s) *	**Elément(s) de référence ***
Condition de conformité : l'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples
Schéma extrait du dessin de définition ⊥ 0,1 A		

Eléments idéaux		
Référence(s) spécifiée(s) *	**Zone de tolérance ***	
simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée

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

TOLERANCEMENT NORMALISE	**Analyse d'une spécification par zone de tolérance**	
	Elément(s) non idéal(aux) extrait(s) du "Skin Modèle"	
Type de Spécification Forme Orientation Position Battement	**Elément(s)** **Tolérancé(s) ***	**Elément(s)** **de référence ***
Condition de conformité : l'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples
Schéma extrait du dessin de définition 		

Eléments idéaux		
Référence(s) spécifiée(s) *	**Zone de tolérance ***	
simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée

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

TOLERANCEMENT NORMALISE	**Analyse d'une spécification par zone de tolérance**	
	Elément(s) non idéal(aux) extrait(s) du "Skin Modèle"	
Type de Spécification Forme Orientation Position Battement	**Elément(s)** **Tolérancé(s) ***	**Elément(s)** **de référence ***
Condition de conformité : l'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples
Schéma extrait du dessin de définition x 8 M 1 5 ⌖ ⌀0,02 B A		

Eléments idéaux		
Référence(s) spécifiée(s) *	**Zone de tolérance ***	
simple commune système	simple composée	**Contraintes** orientation position par rapport à la référence spécifiée

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

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

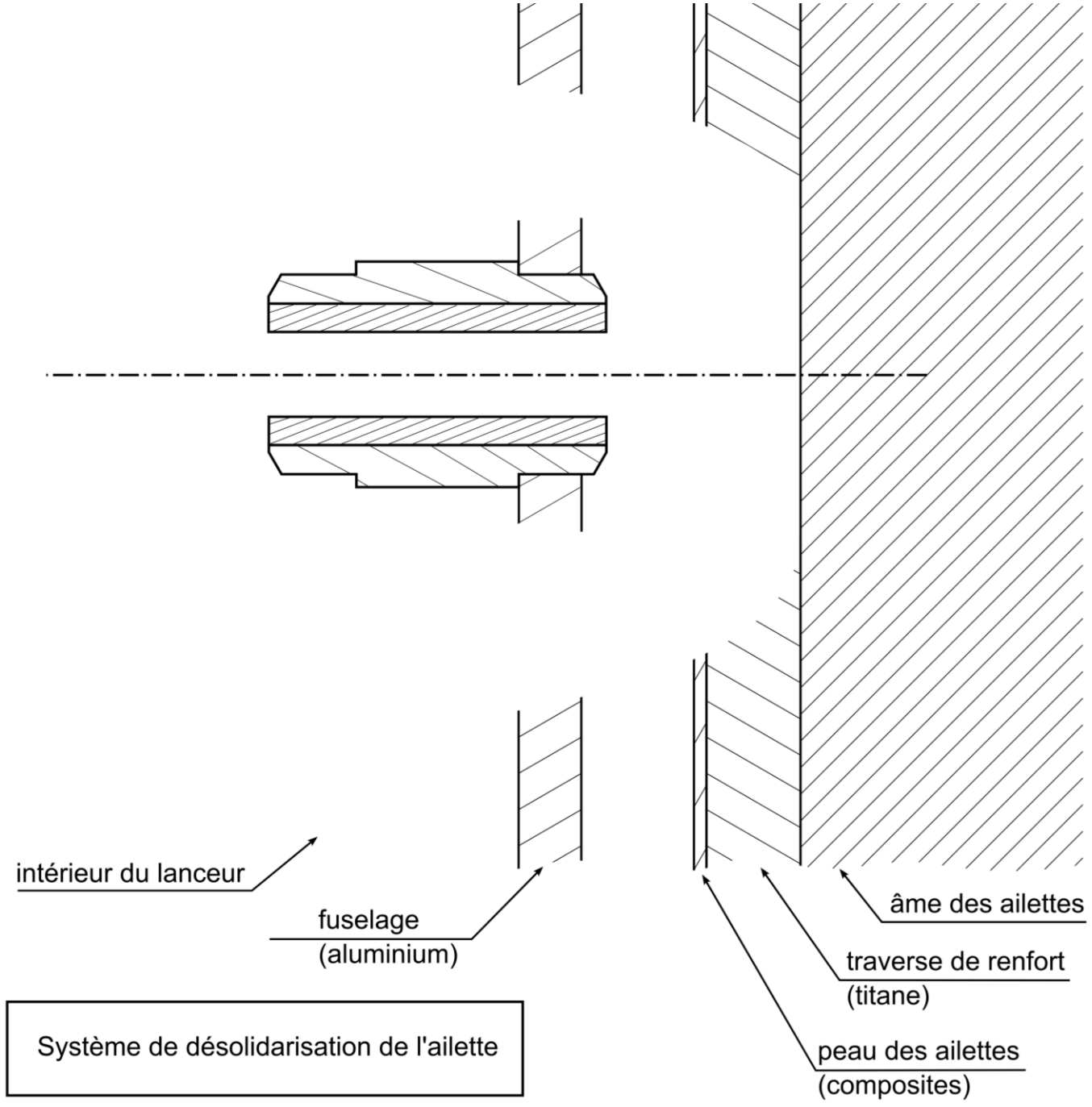
Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

Question IV.1 : *En vous aidant du Document Ressource 15, compléter le dessin proposé ci-dessous avec une solution constructive qui permet de désolidariser l'ailette de la structure. La solution doit respecter les contraintes spécifiées dans le sujet.*



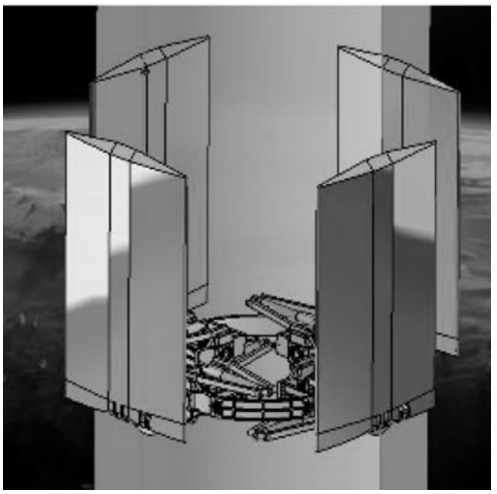
Système de désolidarisation de l'ailette

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Question IV.2 : *Quel type de sollicitation conduit à la rupture du goujon ?*

Question IV.3 : *En vous aidant du Document Ressource 15 et des données du sujet, donner l'expression analytique de la limite supérieure du diamètre du goujon au niveau de la restriction de section. Faire l'application numérique.*

Question IV.4 : *Sur la figure ci-dessous, placer une croix bien visible au meilleur endroit entre les ailettes et la structure où il faut positionner le système de désengagement des ailettes. Justifier votre choix.*



Question IV.5 : *Justifier le choix de paliers lisses sans collerette plutôt que des roulements pour la liaison pivot de l'axe 1 (entre les pièces « support de l'axe 1 » et « traverse de l'ailette »).*

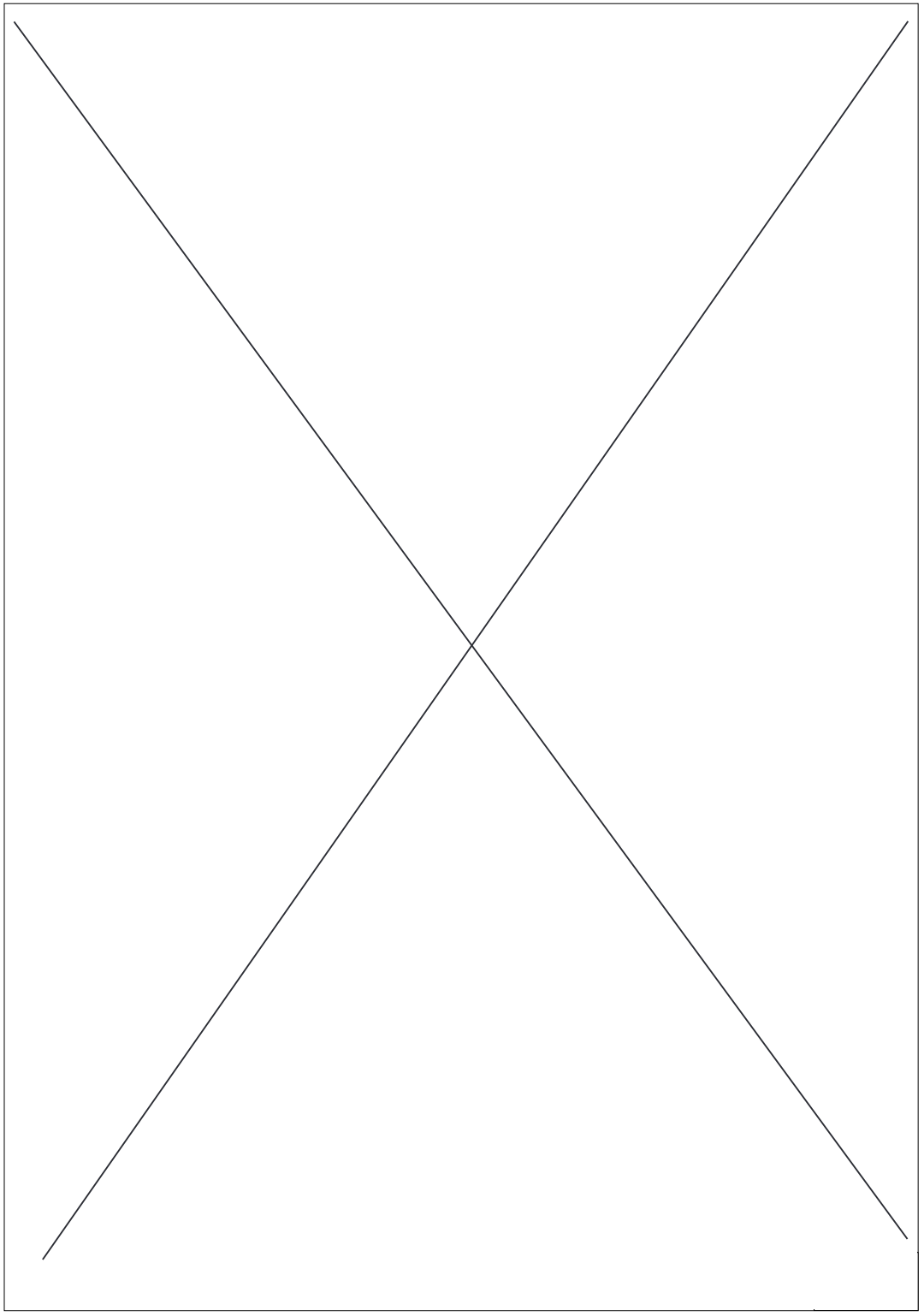
Question IV.6 : *Citer deux matériaux usuels pour réaliser ce type de palier. Décrire les critères de dimensionnement de ces paliers lisses.*

Question IV.7 : *En vous aidant des Documents Ressources 10 et 14, représenter sur le* ***Dessin Réponse*** *une solution constructive pour la réalisation de chacune des fonctions spécifiées dans le sujet.*

A faire sur le ***Dessin Réponse***

Page offerte pour refaire une question. À n'utiliser qu'en cas d'extrême nécessité.

Page offerte pour refaire une question. À n'utiliser qu'en cas d'extrême nécessité.



Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

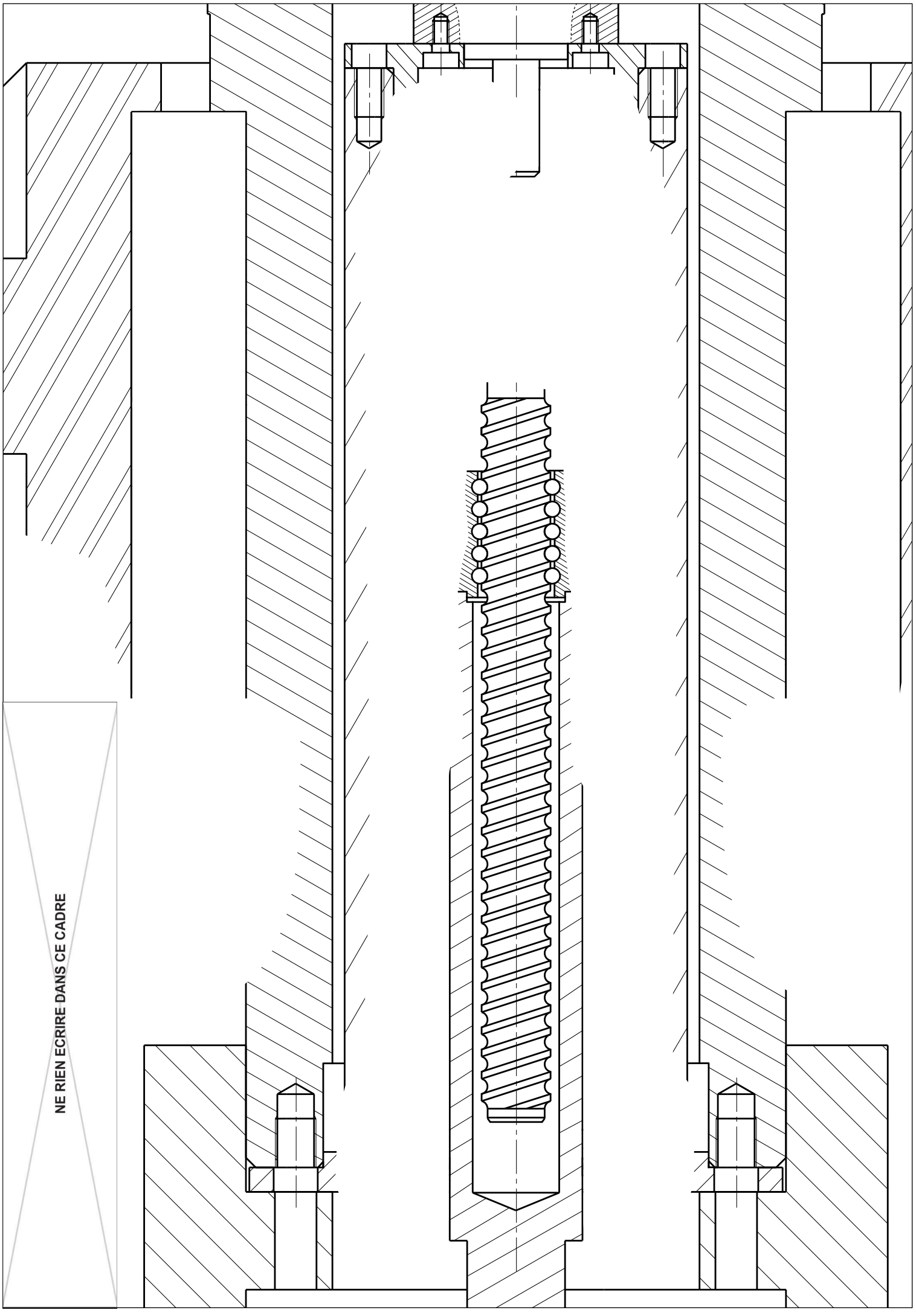
Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

DOCUMENT À RENDRE EN FIN D'ÉPREUVE

Renseigner le cartouche d'identification : une feuille dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

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

- Mobilité, hyperstatisme et petits déplacements
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance

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