Concours d'admission de l'École polytechnique et des ENS (X-ENS), France

Session 2025, filière PSI

Sciences de l'ingénieur

Ce que traite le sujet

- I : contexte et problématique
- II : étude du canon et de sa cadence de tir
- III.1 et III.2 : transmission et mesure de l'angle de la tourelle
- III.3 : étude de l'asservissement de la tourelle

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/x-ens/psi/2025/si

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

Étude du système de défense « RAPIDFire Naval »



Le sujet est composé :

- d'un livret décrivant le système étudié ainsi que le travail demandé (pages 1 à 16) ;
- d'un document réponse à joindre obligatoirement à la copie (document DR1).

Il est recommandé au candidat :

- de lire l'intégralité du sujet avant de commencer à composer ;
- de rappeler sur sa copie le numéro de la question avant d'en développer la réponse ;
- de respecter l'ensemble des notations alphabétiques et numériques du sujet ;
- de préciser ses propres notations lorsque cela s'avère nécessaire ;
- de justifier ses hypothèses et rédiger clairement ses réponses ;
- de numéroter soigneusement les pages de sa copie.

Les différentes parties de ce sujet sont relativement indépendantes et chaque partie comporte des questions parfois indépendantes. Néanmoins, il est recommandé de les traiter dans l'ordre proposé afin de s'approprier correctement le sujet et de tenir compte des différentes remarques et des notations.

Aussi, les données du sujet ont été définies pour s'adapter à une épreuve de concours ; elles ne représentent pas toujours la réalité industrielle du produit commercialisé.

PRÉSENTATION DU SYSTÈME

Le RAPIDFire Naval est un canon semi-autonome conçu par les entreprises Nexter et Thalès.



Le premier domaine d'application du RAPIDFire Naval est la défense d'un Bateau Ravitailleur de Forces (BRF). Ce type de navire mesure environ 200 m, il apporte un soutien logistique aux navires de l'armée en les ravitaillant en vivres, munitions, et carburant ; il n'a aucune capacité offensive mais doit être capable de se protéger d'attaques pouvant nuire à sa mission.

Des défenses antimissiles classiques équipent les navires militaires mais ces défenses sont particulièrement adaptées aux attaques conventionnelles provenant d'un autre navire ou d'un avion ou d'un missile. Ce sont des systèmes complexes, chers mais très performants.

La problématique actuelle est la défense d'un navire face à une attaque par des systèmes « low-cost » de type drone. Les défenses antimissiles sont efficaces contre ces attaques mais elles sont confrontées à deux risques : la saturation par un nombre de drones important et le coût d'utilisation de ces équipements (il n'est pas raisonnable d'utiliser des systèmes antimissiles de plusieurs centaines de milliers d'euros pour neutraliser quelques drones).

Ce sujet aborde la problématique de la défense d'un BRF par un RAPIDFire Naval contre une attaque de drones.

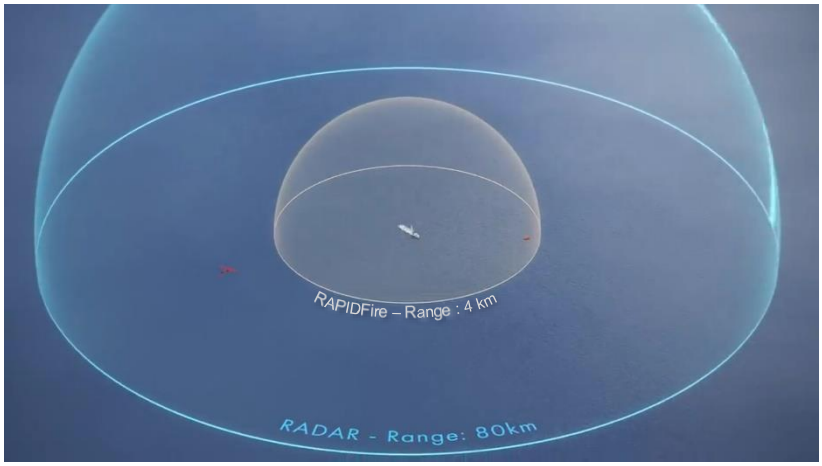
Le RAPIDFire Naval est constitué d'un canon de 40 mm capable de tirer plusieurs types de munitions à une cadence de 200 coups/min. Le choix de conception a clairement été d'avoir une cadence de tir moyenne mais une précision importante. La portée des munitions utilisées est d'environ 4000 m.

Plusieurs types de munitions sont disponibles selon le type de menace :

- Obus simples, très peu coûteux, dont l'efficacité provient uniquement de la cinétique du projectile ;
- Munitions perforantes (dites « flèches »), permettant de traverser des blindages ;
- Munitions explosives, ayant un effet de souffle sur la cible ;
- Munitions A3B (Anti-Aerial AirBurst), qui, en explosant proche de la cible, projettent des projectiles de type billes sur une zone de quelques mètres.

La précision est le critère principal qui permet d'atteindre la performance du système RAPIDFire Naval. C'est ce critère qui sera l'objet principal des études menées.

I - CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE



Pour détruire un drone volant, le système doit détecter le drone, connaître précisément sa position dans l'espace grâce au viseur du RAPIDFire Naval, viser (orienter le canon dans la direction du drone), tirer et le projectile doit atteindre le drone.

La détection est réalisée par des radars équipant le BRF. Ces radars ont des capacités à détecter les drones à plusieurs dizaines de kilomètres. Le viseur, permettant ensuite de positionner précisément la cible, est capable de faire un tour sur lui-même en 2 s et « voit » un drone à 5 km environ. La tourelle du canon est capable de faire un tour sur elle-même en 6 s. Les projectiles utilisés ont une vitesse moyenne d'environ 1000 m/s en première approximation. Le canon possède une amplitude verticale de mouvement comprise entre -15° et 85° (0° et 90° correspondant respectivement à une position horizontale et verticale), sa vitesse de rotation n'est pas un critère limitant.

La vitesse maximale des drones cibles est de 500 km/h.

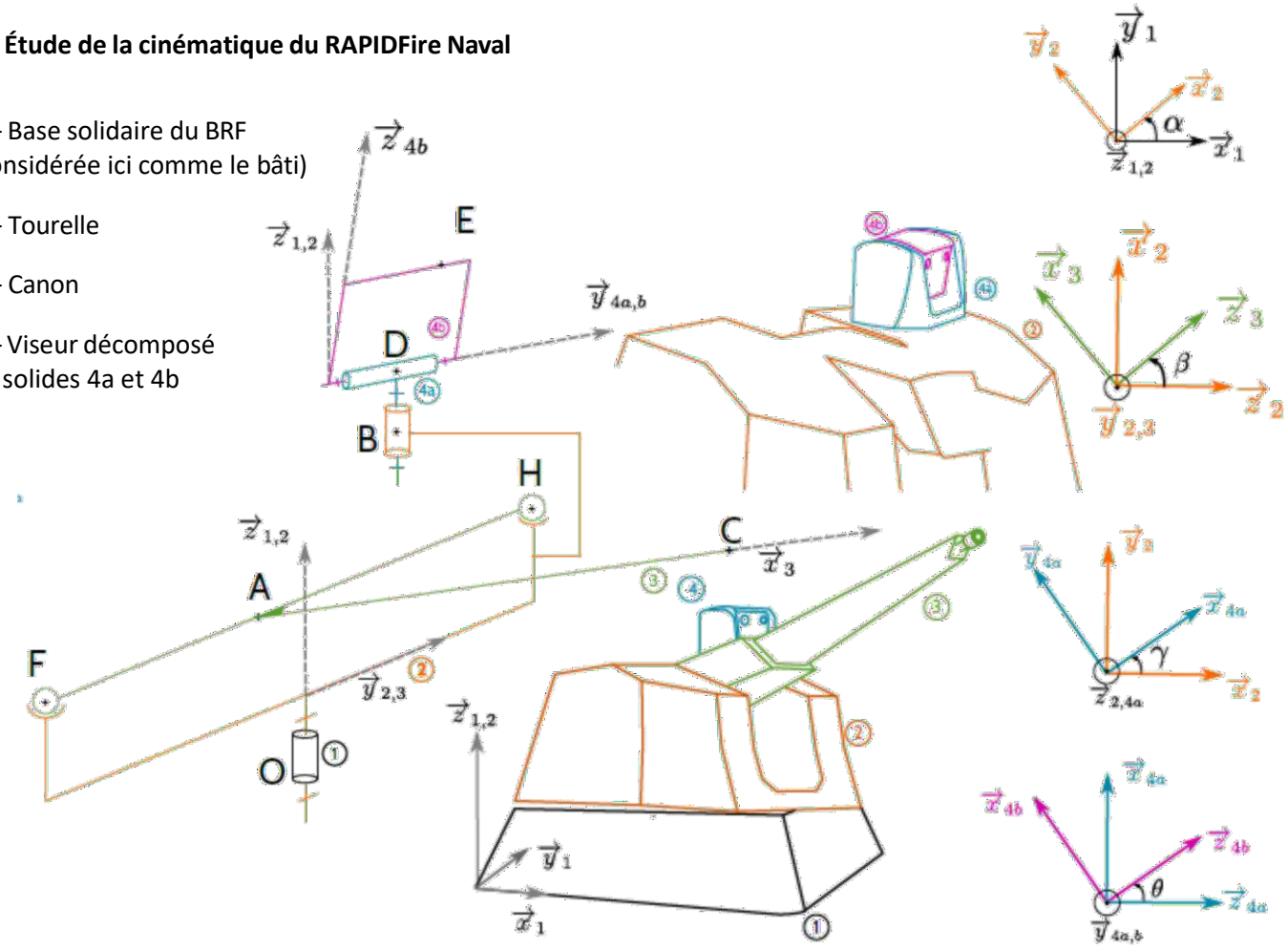
I.1 - Étude de la cinématique du RAPIDFire Naval

1 – Base solidaire du BRF (considérée ici comme le bâti)

2 – Tourelle

3 – Canon

4 – Viseur décomposé en solides 4a et 4b



Question 1 : déterminer le degré d'hyperstatisme du modèle proposé et, si nécessaire, indiquer les modifications à apporter pour le rendre isostatique sans modifier le nombre de liaisons.

Question 2 : en le démontrant, déterminer la liaison équivalente entre les pièces 2 et 3.

I.2 - Étude des capacités de défense du RAPIDFire Naval

Question 3 : dans le pire des cas, en expliquant les hypothèses faites, calculer le temps maximal que le RAPIDFire Naval mettra pour toucher une cible à portée.

Il faut généralement 4 tirs pour neutraliser une cible.

Question 4 : déterminer la vitesse minimale que doit avoir un drone pour ne pas avoir le temps d'être détruit. Conclure.

Les drones peuvent attaquer en « essaim », c'est-à-dire en venant **simultanément de plusieurs directions**.

Question 5 : en expliquant clairement les hypothèses faites, déterminer le nombre maximal de drones qu'un canon RAPIDFire Naval peut neutraliser dans une attaque en « essaim ».

Le BRF possède deux RAPIDFire Naval placés sur le pont du navire à chaque extrémité (un à la proue et un à la poupe).

Question 6 : en expliquant clairement les hypothèses faites, déterminer le nombre maximal de drones que ces deux canons RAPIDFire Naval peuvent neutraliser dans une attaque en « essaim ».

Les radars du BRF permettent de localiser la menace mais aussi de l'identifier. La signature radar d'un drone volant n'est pas la même que celle d'un missile, d'un avion, d'un drone marin, etc. L'analyse humaine de la signature radar est complexe et nécessiterait un temps important. Les 4 types de munitions permettent de s'adapter à plusieurs menaces. Le choix de la munition utilisée est réalisé par une intelligence artificielle (IA) dédiée.

Question 7 : nommer le type d'algorithme IA utilisé, donner trois entrées possibles de cet algorithme et citer une méthode algorithmique permettant de faire ce choix.

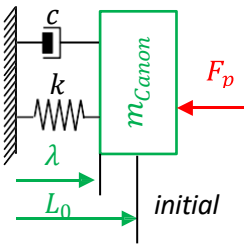
II – ÉTUDE DU CANON ET DE SA CADENCE DE TIR

II.1 - Étude la cadence de tir

Un projectile pèse $m_{proj} = 1\,kg$ et sort à une vitesse $v_{proj} = 1300\,ms^{-1}$ du canon. Le canon a une longueur $L_{canon} = 2{,}8\,m$ et une masse propre $m_{canon} = 340\,kg$.

Question 8 : en faisant l'hypothèse d'une accélération constante, déterminer la force moyenne de poussée F_p reçue par le canon lors d'un tir, la durée T_p pendant laquelle cette force s'applique au canon et la pression moyenne dans le canon.

Pour pouvoir assurer la cadence de tir et réduire le recul du canon, un amortisseur hydraulique est présent sur le système. Le canon est modélisé par une masse et l'amortisseur hydraulique par un ressort de raideur k et de longueur à vide L_r en parallèle d'un amortisseur fluide de constante c (voir la figure ci-contre). Le mouvement de recul du canon est unidirectionnel. À l'instant initial, la position de la masse est L_0 et la vitesse du canon est nulle. On note $\lambda(t)$ la position du canon à l'instant t. En phase 1, c'est-à-dire pour $t \in [0;\ T_p]$, la force de poussée s'exerce. Lors de la phase 2, c'est-à-dire pour $t \in [T_p;\ t_f]$, le projectile est sorti du canon mais le canon continue de bouger.



Question 9 : pendant la phase 1, déterminer l'équation différentielle du mouvement du canon.
Question 10 : pendant la phase 2, déterminer l'équation différentielle du mouvement du canon.

On souhaite que :

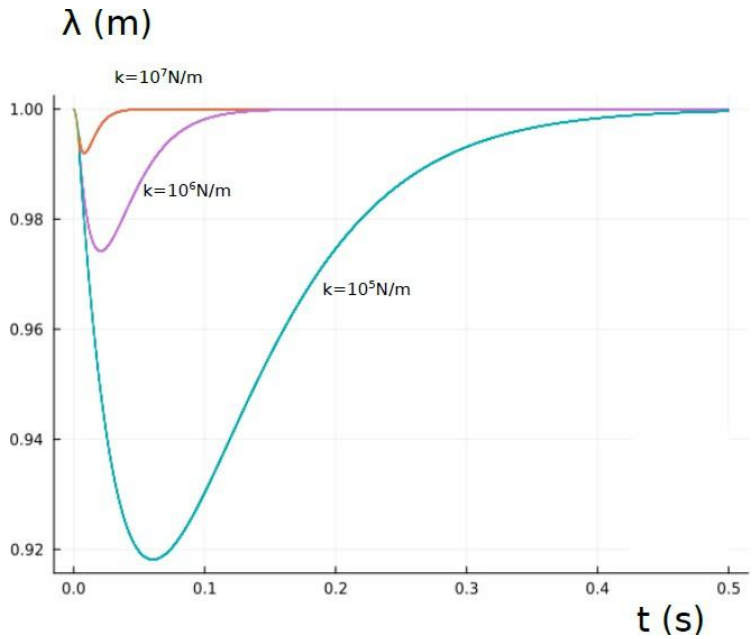
- la cadence de 200 coups par minute soit assurée : on prendra $t_f = 0{,}2\ s$
- le canon revienne à sa position initiale en fin de tir : $\lambda(t_f) = 0$
- la vitesse du canon soit nulle en fin de tir (pour permettre le rechargement): $\lambda(t_f) = 0$
- le recul maximal ne dépasse pas une valeur critique $\delta = 10\,mm$

Question 11 : déterminer de manière littérale la longueur à vide du ressort L_r.

En première approche, la constante d'amortissement fluide est choisie de telle sorte que $c = 2\sqrt{km}$

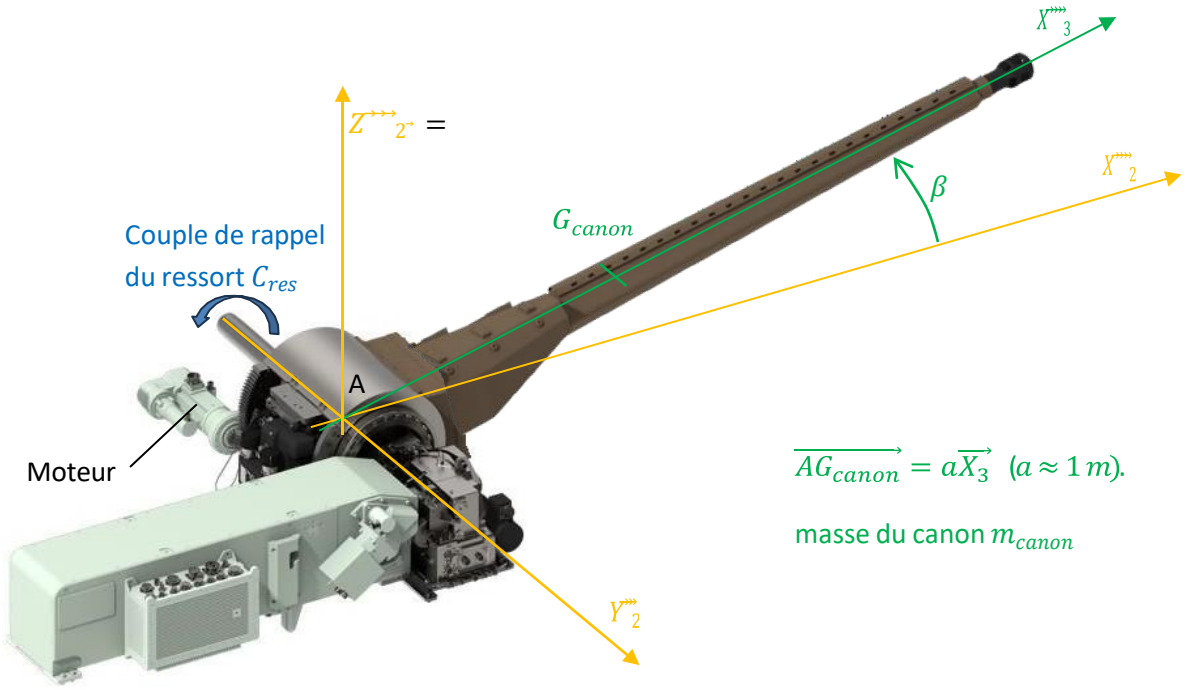
Question 12 : justifier cette première approche et donner les expressions de $\lambda_1(t)$ pour la phase 1 et $\lambda_2(t)$ pour la phase 2.

La courbe ci-dessous donne la valeur de $\lambda(t)$ selon le choix de la valeur de k.



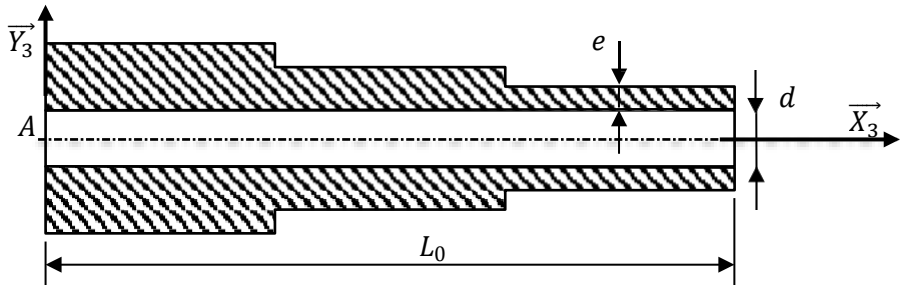
Question 13 : déterminer les valeurs de k et c pour respecter le cahier des charges.

II.2 - Étude du canon



II.2.1 – Caractéristiques géométriques et inertielles du canon

La géométrie cylindrique du canon est approximée de la manière suivante :



Le canon de diamètre interne $d = 40\ mm$ est en acier de masse volumique $\rho = 7{,}8\ tonnes/m^3$; il est de longueur $L_0 = 2{,}8\ m$ environ et a trois épaisseurs $3e$, $2e$ et e pour chaque tiers. Il a une masse $m_{canon} = 340\ kg$.

Question 14 : écrire la démarche et les équations permettant de déterminer l'épaisseur e.

Question 15 : connaissant toutes les grandeurs géométriques, déterminer de manière littérale la position du centre de gravité G_{canon} dans le repère $(A, \overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3})$ en fonction de d, e et L_0. (Il est possible de définir et calculer des grandeurs intermédiaires dont les valeurs seront considérées comme connues pour la suite du calcul).

La matrice d'inertie du canon au point A dans sa base peut s'écrire :

$$\bar{\bar{I}}(A, canon, \overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3}) = \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{\overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3}}$$

Question 16 : donner et justifier la forme simplifiée de la matrice $\bar{\bar{I}}(A, canon, \overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3})$.

Question 17 : les valeurs des composantes non-nulles de la matrice d'inertie $\bar{\bar{I}}(A, canon, \overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3})$ étant connues, calculer le moment d'inertie en rotation du canon $J_{(A,\overrightarrow{Z_1})}(canon)$ par rapport à l'axe $(A, \overrightarrow{Z_1})$ de rotation de la tourelle en fonction de l'angle β.

Déterminer pour quelles valeurs de l'angle β cette inertie $J_{(A,\overrightarrow{Z_1})}(canon)$ est minimale et maximale. Calculer ces deux inerties en fonction des valeurs non-nulles parmi A, B, C, D, E et F.

II.2.2 – Couple statique appliqué au canon pour le maintenir immobile

Le canon tourne autour de l'axe $(A, \overrightarrow{Y_2})$. Cette partie s'intéresse au positionnement du canon à l'angle β souhaité. Un mécanisme de compensation de pesanteur est constitué d'un ressort de torsion. Dans le plan $(A, \overrightarrow{X_2}, \overrightarrow{Z_2})$, l'action du ressort est modélisée par un couple de rappel $C_{res} = -k_t.(\beta - \beta_0)$ s'exerçant au point A. On note C_{moteur} le couple moteur ramené sur l'axe de rotation.

Question 18 : dans cette situation, déterminer le couple moteur C_{moteur} en fonction de $k_t, m_{canon}, \beta, \beta_0, g$ et a.

Question 19 : donner l'intérêt de placer un ressort compensateur de pesanteur sur le canon et proposer une autre solution technologique pour compenser l'effet de la pesanteur. Comparer ces deux solutions lorsque le canon tourne autour de l'axe $(A, \overrightarrow{Y_2})$.

Question 20 : pour un angle β variant de -15° à 90°, proposer une méthode pour choisir la valeur de k_t et β_0 en expliquant le ou les critères utilisés.

II.2.3 – Motorisation du canon

Les caractéristiques inertielles du canon sont : $\overrightarrow{AG_{canon}} = a\overrightarrow{X_3}$ $(a \approx 1\,m)$;

$$\bar{\bar{I}}(A, canon, \overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3}) = \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{\overrightarrow{X_3}, \overrightarrow{Y_3}, \overrightarrow{Z_3}} \quad \text{avec } B = 40kg.m^2$$

Le canon est motorisé par un motoréducteur exerçant un couple C_m à une vitesse ω_m. Après la mise en place du ressort de compensation, le couple de pesanteur maximal sur l'axe $(A, \overrightarrow{Y_2})$ est $C_{pes} \in [-50; +50]\ N.m$.

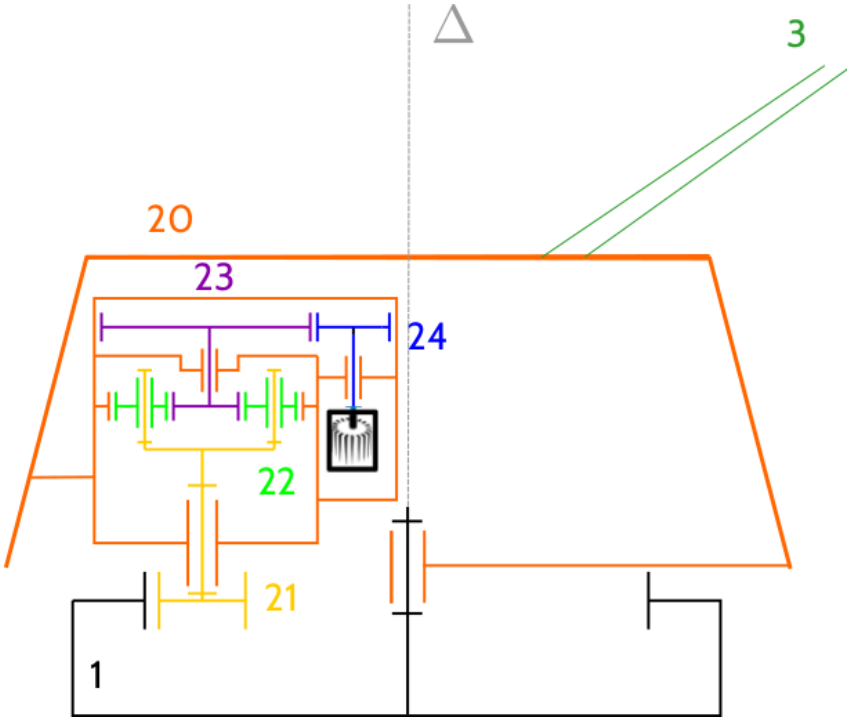
Le canon doit pouvoir effectuer un déplacement de $\Delta\beta = 20°$ en moins de $T_t = 0{,}3\ s$ quelle que soit sa position de démarrage. Les temps d'accélération et de décélération doivent être inférieurs à $t_a = 0{,}1\ s$ chacun.

Question 21 : représenter graphiquement la courbe d'évolution de la vitesse de rotation du canon en fonction du temps. En expliquant les hypothèses faites, déterminer les valeurs de couple C_m, vitesse ω_m et puissance P_m minimales du motoréducteur.

Ⅲ – ÉTUDE DES MOUVEMENTS DE LA TOURELLE

La tourelle est motorisée par deux moteurs et deux réducteurs. Dans cette partie, le sujet ne prendra en compte qu'un seul moteur et un seul réducteur représentés sur le schéma ci-dessous.

III.1 - Étude de la transmission



Des pièces représentées sur le même plan sur ce schéma ne le sont pas forcément. Il y a en fait trois pièces 22.

On donne :

Les pièces i ont un nombre de dents Z_i, une masse m_i, une inertie en rotation par rapport à leur axe de révolution J_i et un centre de gravité G_i à une distance R_i de l'axe de rotation de la tourelle 20.

$Z_{24} = 30$, module $M_3 = 1\,mm$ $J_{24} = 0{,}01\,kg.m^2$ $R_{24} = 0{,}7\,m$ $m_{24} = 10\,kg$

$Z_{23}^g = 90$, module $M_3 = 1\,mm$

$Z_{23}^p = 20$, module $M_2 = 2\,mm$

$Z_{22} = 30$, module $M_2 = 2\,mm$

$Z_{20} = 80$, module $M_2 = 2\,mm$ $J_{20} = 900\,kg.m^2$ $R_{20} = 0\,m$ $m_{20} = 1100\,kg$

$Z_{21} = 16$, module $M_1 = 4\,mm$ $J_{21} = 0{,}05\,kg.m^2$ $R_{21} = 0{,}7\,m$ $m_{21} = 10\,kg$

$Z_1 = 320$, module $M_1 = 4\,mm$

La masse du canon est négligée.

Le moteur tourne à une vitesse de rotation de $3000\ tr/min$.

Le rapport de réduction de la transmission est défini comme $k_r = \frac{\omega_{20/1}}{\omega_{24/20}}$

Question 22 : expliquer pourquoi le rapport de réduction k_r est défini à partir de vitesses considérées par rapport à deux pièces différentes (1 et 20). Calculer de manière littérale puis numérique le rapport de réduction k_r de cette transmission. Valider ce rapport de réduction au regard de la vitesse attendue de la tourelle.

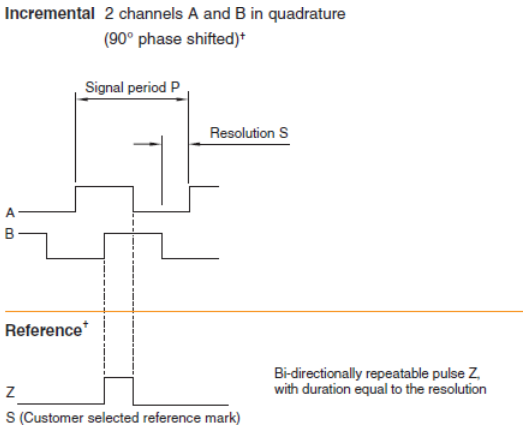
Question 23 : expliquer pourquoi les pignons 20, 22 et 23 ont le même module. Expliquer pourquoi le module de l'engrenage $\{1, 21\}$ est supérieur au module des engrenages $\{20, 22\}$ et $\{22, 23\}$ lui-même supérieur au module de l'engrenage $\{23, 24\}$.

Question 24 : énoncer la démarche pour calculer l'inertie équivalente J_2 de l'ensemble de la transmission du point de vue de la rotation du moteur.

Question 25 : en ne prenant en compte que les masses et inerties des pièces 24, 21 et 20, calculer littéralement puis numériquement l'inertie équivalente J_2.

III.2 - Étude de la mesure de l'angle de rotation de la tourelle





Le capteur rotatif d'un diamètre d'environ 1 m sur la tourelle doit permettre d'obtenir une précision suffisante pour atteindre la cible. Un « top » tour indique la position d'origine.

Le capteur génère deux signaux A et B avec une période spatiale de 1 µm chacun et deux autres signaux $\bar{A}$ et $\bar{B}$ complémentaires des deux premiers.

Question 26 : indiquer si la présence d'une sortie et de son conjugué apporte de la précision au capteur. Donner une fonction booléenne qui permet d'utiliser à la fois les sorties A et $\bar{A}$ pour signaler un dysfonctionnement du capteur.

Question 27 : lorsque la tourelle tourne à sa vitesse maximale, calculer la fréquence du signal.

Question 28 : calculer le débit en octets/seconde que le réseau informatique doit supporter.

Question 29 : calculer la précision angulaire du capteur et en déduire la précision sur une cible située à 4 km.

III.3 Étude de l'asservissement de la tourelle

III.3.1 Étude de la génération de la consigne de position

La cible est repérée par les radars du BRF d'une part et par le viseur « à vue » d'autre part. Le viseur est équipé de caméras haute définition, thermiques et infrarouges fonctionnant toutes à 500 Hz. Le viseur donne la localisation angulaire précise de la cible. Les radars permettent de localiser approximativement la cible, de déterminer la vitesse de la cible, de mesurer la distance entre la cible et le BRF, et d'avoir une idée du type de cible (drone marin, drone volant, missile, etc).

Par ailleurs, des centrales inertielles permettent à tout instant de mesurer les positions angulaires du BRF.

Enfin, le BRF possède une mesure des vitesses moyennes des vents autour du navire.

Le choix est d'effectuer un tir à un instant précis en visant un point de l'espace où la cible ne se trouve pas encore mais où le projectile et la cible pourront être au même instant.

Cette consigne est un problème essentiel et complexe qui est décomposé en deux étapes :

- Un calcul prédictif déterministe permettant de générer une consigne de tir ;
- Une diminution des incertitudes avec une intelligence artificielle (IA).

Question 30 : donner 4 paramètres physiques qu'il est nécessaire de prendre en compte pour conduire le calcul déterministe de la consigne de position de tir.

Expérimentalement, la consigne garde une incertitude qu'une IA permet de diminuer. Par rapport à la consigne déterministe calculée, l'IA donne une correction angulaire sur la tourelle et le canon. Cette correction est volontairement limitée. L'algorithme utilise en entrée les paramètres déjà pris en compte par le calcul déterministe et quelques informations supplémentaires.

Question 31 : nommer le type d'algorithme IA utilisé et donner une information d'entrée supplémentaire que cet algorithme peut prendre en compte.

III.3.2 Étude des moteurs



Deux motoréducteurs électriques motorisent la tourelle par l'intermédiaire d'une seule couronne, comme illustré sur le schéma ci-contre.

Tant que l'écart entre la position de consigne et la position mesurée est supérieur à 5°, les deux moteurs agissent dans le même sens, à leur couple et/ou vitesse maximal. C'est la phase *« Rapide ».*

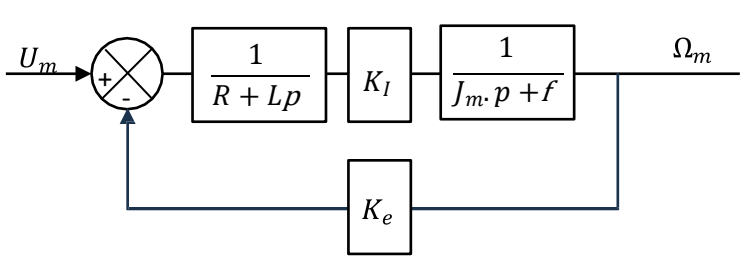
Lorsque l'angle est inférieur à 5°, les deux moteurs exercent des couples dans des sens opposés de manière à annuler les jeux dans la transmission. C'est la phase *« Précision ».*

La transition de la phase *« Rapide »* à la phase *« Précision »* est considérée comme instantanée.

III.3.2.1 – Étude d'un moteur seul non engrené avec la couronne

Le moteur peut être alimenté en 400 V en continu sur des périodes longues (>10 s). Il est possible d'alimenter le moteur jusqu'à 4000 V pendant 1 s ou 40000 V pendant 0,1 s. La commande de tension permet de s'adapter à cette limite d'un moteur.

Question 32 : sans toutefois dépasser une valeur de tension maximale, énoncer le principe physique qui explique qu'il soit possible d'alimenter ce moteur avec une tension d'autant plus élevée que la durée d'alimentation est courte.



$K_I = 1\ N.m/A$

$K_e = 1\ V/(rad.s^{-1})$

$R = 5\ \Omega$

$L = 50\ mH$

$J_m = 0{,}088\ kg/m^2$

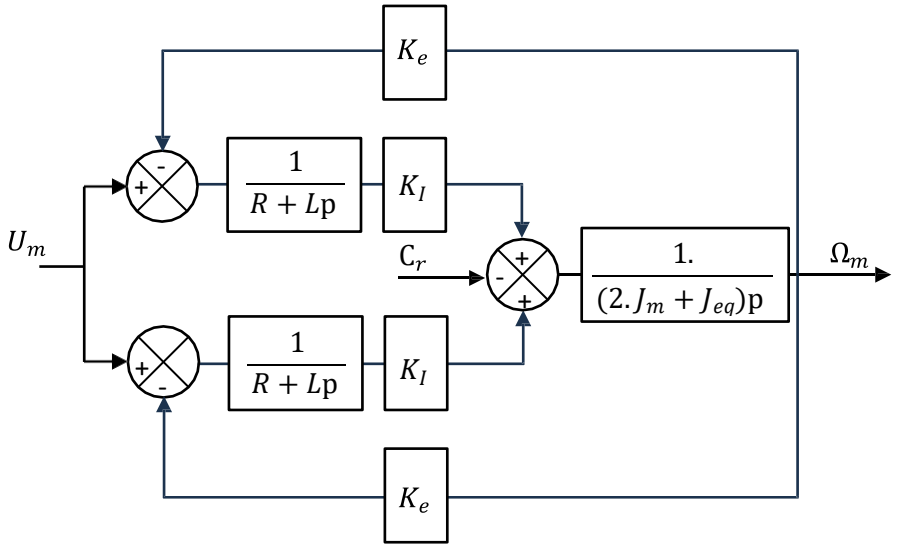
Question 33 : calculer de manière littérale sous forme canonique la fonction de transfert $FT_1(p)$ du moteur.

Question 34 : donner les conditions mathématiques pour pouvoir négliger le frottement f.

Pour la suite du sujet, la valeur de f est considérée comme nulle.

III.3.2.2 – Phase *« Rapide »*

La phase *« Rapide »* est une phase où la cible est angulairement loin de la ligne de visée du canon. L'objectif est de rapprocher le plus rapidement possible la ligne de visée de la cible. Les 2 motoréducteurs peuvent être modélisés par le schéma ci-dessous lorsque les deux moteurs exercent un couple dans le même sens (pas de compensation de jeu).



J_{eq} est l'inertie équivalente de la tourelle (2) incluant la transmission et le canon (3) du point de vue des moteurs.

$2.J_m + J_{eq} \approx 0{,}03\ kg.m^2$

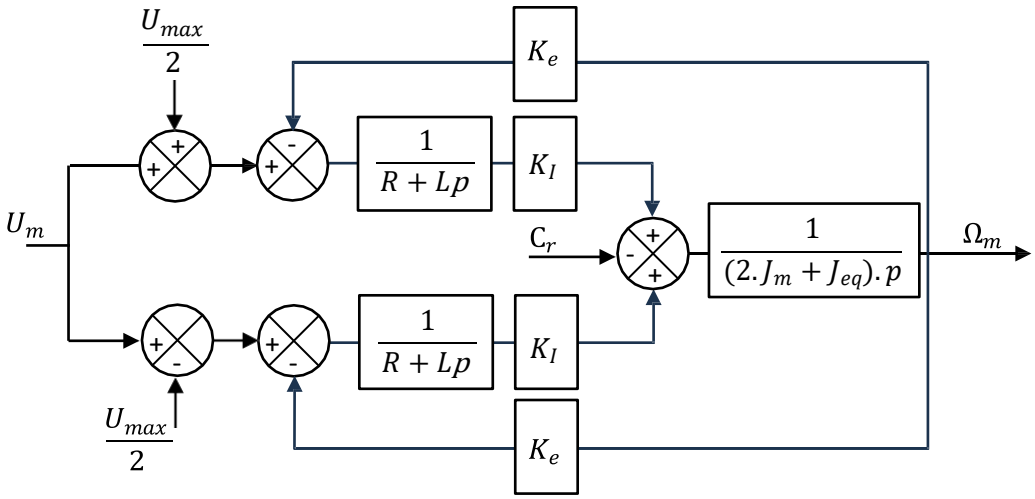
C_r est un couple résistant.

Question 35 : calculer de manière littérale sous forme canonique la fonction de transfert $\Omega_m(p)$ en fonction de U_m, $C_r, R, L, K_I, K_e, J_{eq}$ et J_m. Commenter ce résultat par rapport à une motorisation avec un seul moteur.

III.3.2.3 – Phase *« Précision »*

La phase *« Précision »* est une phase où la cible est angulairement proche de la ligne de visée du canon (écart inférieur à 5°). L'objectif est de rapprocher le plus précisément possible la ligne de visée et la cible. Avec prise en compte de l'inertie de la tourelle, les 2 motoréducteurs peuvent être modélisés par le schéma ci-dessous.

La tension U_{max} est limitée à $800\ V$.



Les deux moteurs agissent dans des sens opposés permettant d'annuler les jeux et de limiter l'effet des déformations de la transmission : c'est le critère de précision qui est le plus important.

Question 36 : calculer de manière littérale sous forme canonique $\Omega_m(p)$ en fonction de U_m, C_r, R, L, K_I, K_e, J_{eq} et J_m. Commenter ce résultat par rapport à la phase « Rapide ».

Question 37 : indiquer pour quelle plage de tension U_m il est possible d'annuler les jeux dans la transmission.

III.3.3 Étude des asservissements de la tourelle

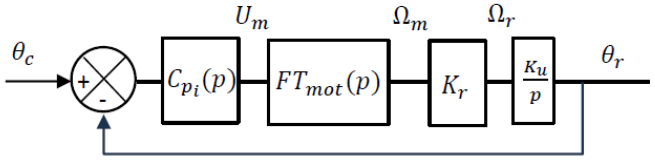
La fonction $C_{pi}(p)$ est la fonction de transfert d'un correcteur de la position. L'indice i évolue de 1 à 5 dans le sujet pour étudier cinq correcteurs de position.

III.3.3.1 Étude de l'asservissement en position

L'asservissement de la position de la tourelle est réalisé grâce au capteur de position sur la couronne de la tourelle.

Le schéma bloc ci-dessous représente cet asservissement. L'ensemble des tests est fait sur une entrée en échelon de 5°. De manière ponctuelle, les essais sont faits avec une rampe unitaire.

$FT_{mot}(p)$ est la fonction de transfert de la motorisation lors de la phase *« Précision »* étudiée précédemment. Le couple résistant est considéré nul ($C_r = 0$).



$K_r = \frac{1}{300}$; $K_u = \frac{360}{2\pi}°/rad$

Correcteur $C_{p1}(p) = K_p = 1$

$K_t = 1\ ^{Nm}/_{A}$; $K_e = 1\ ^{V}/_{(rad.s^{-1})}$

$R = 5\Omega$ $L = 50mH$

Pour les applications numériques, on prend $FT_{mot}(p) = \frac{1}{1+7{,}5.10^{-2}p+7{,}5.10^{-4}p^2}$

Questin 38 : donner l'unité de K_p.

Question 39 : déterminer littéralement puis numériquement l'écart statique en position ε_S et l'écart statique en vitesse ε_V de la tourelle asservie. Justifier dans ce cas si le système est sensible à une perturbation C_r non nulle.

Pour le calcul du temps de réponse uniquement, l'inductance L est négligée.

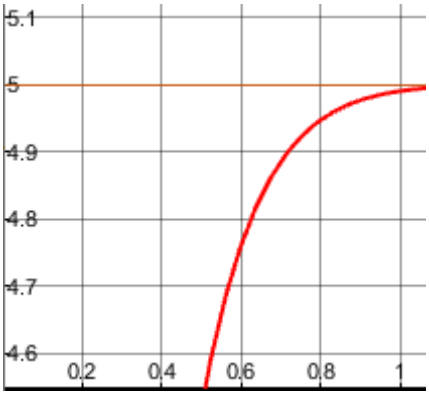
Question 40 : donner la démarche et les hypothèses nécessaires permettant d'estimer le temps de réponse à 5% $(T_{r5\%})$ de la tourelle asservie. Mettre en œuvre cette démarche et estimer numériquement la valeur $T_{r5\%}$.

Question 41 : tracer en bleu sur le document réponse DR1 des diagrammes de Bode asymptotique et réel afin d'en déduire graphiquement les marges de phase et gain. Conclure sur les performances de cet asservissement.

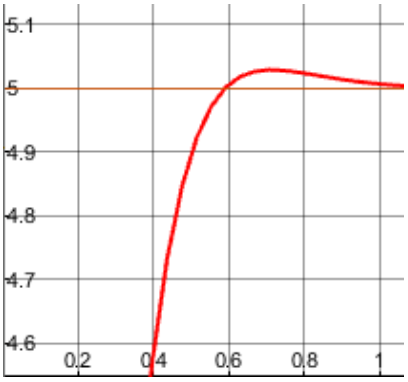
Pour augmenter les performances de l'asservissement, la valeur de K_p du correcteur $C_{p2}(p) = K_p$ est modifiée. L'objectif est de trouver la valeur de K_p telle que la tourelle soit la plus rapide possible.

Les courbes ci-dessous donnent la réponse de la tourelle à un échelon de 5° pour différentes valeurs de K_p.

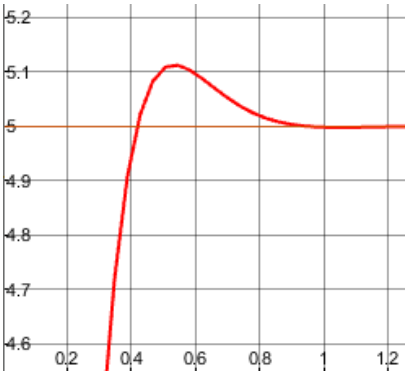
$C_{p2}(p) = 20$



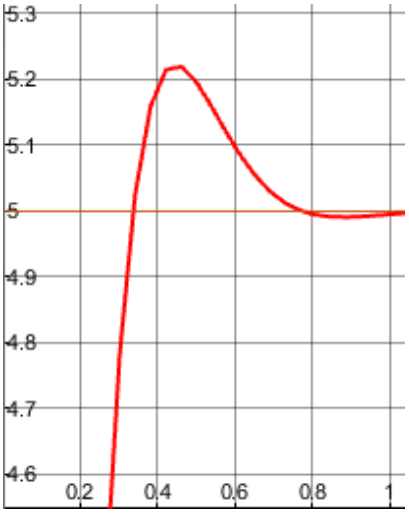
$C_{p2}(p) = 25$



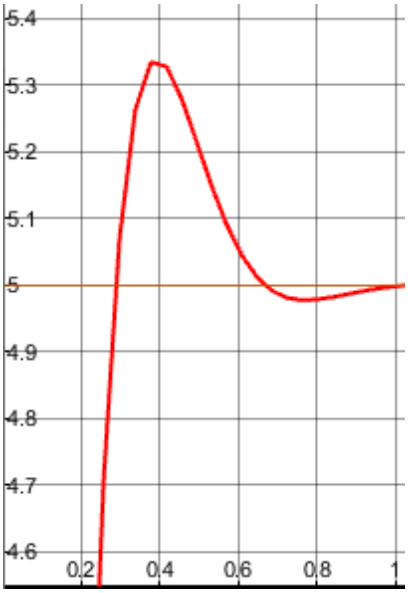
$C_{p2}(p) = 30$



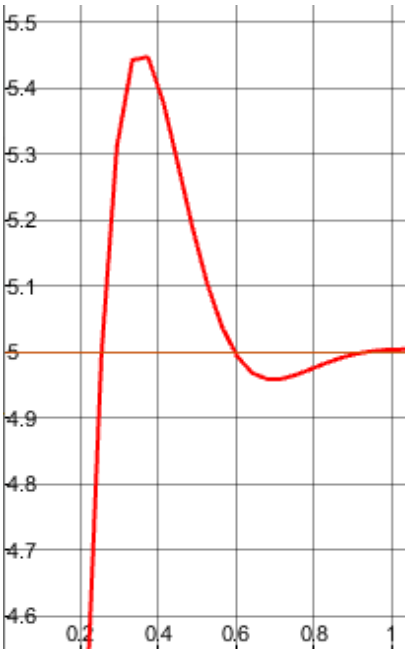
$C_{p2}(p) = 35$



$C_{p2}(p) = 40$



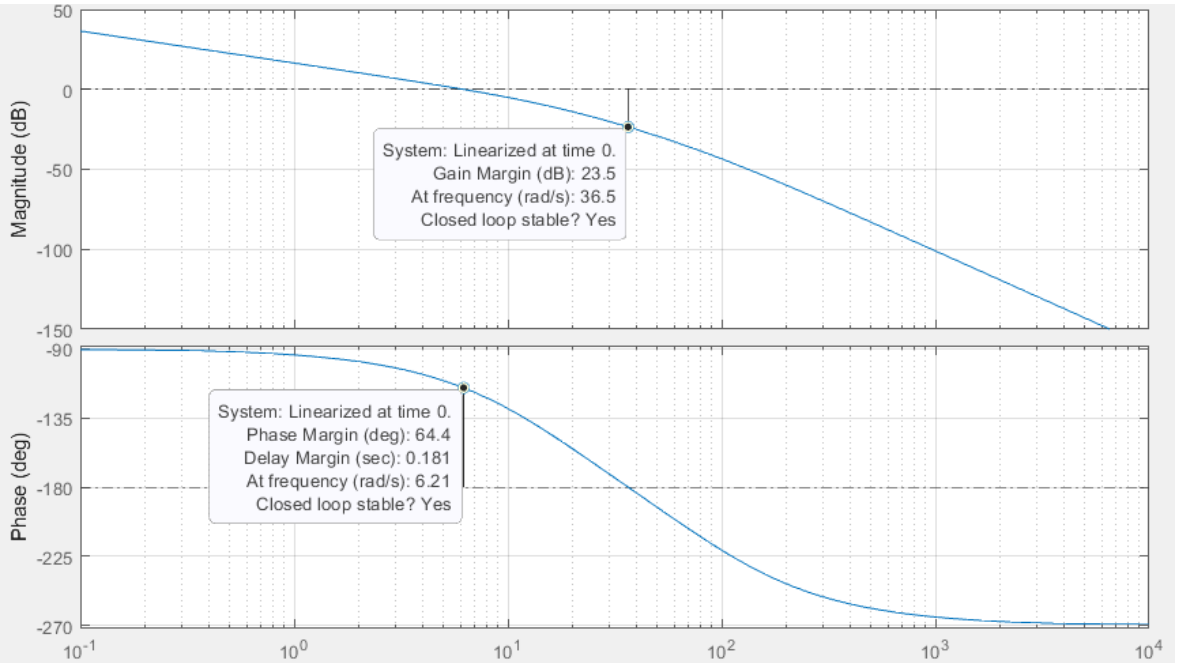
$C_{p2}(p) = 45$



Question 42 : choisir, en justifiant le critère utilisé, le gain K_p qui semble le plus adapté.

L'objectif est d'améliorer la précision pour avoir une erreur nulle en vitesse. Pour cela on propose de choisir un correcteur $C_{p3}(p) = K_{p3} + \frac{K_{I3}}{p}$.

Le tracé ci-dessous permet d'identifier les marges de phase et gain initiales utiles à l'évaluation de la stabilité de l'asservissement.



Pour ne pas impacter fortement la stabilité, il faut qu'à la fois la pulsation de cassure du correcteur soit environ 40 fois plus faible que la pulsation de marge de la phase initiale et que le correcteur modifie le moins possible le gain de la fonction au-delà de la pulsation de cassure.

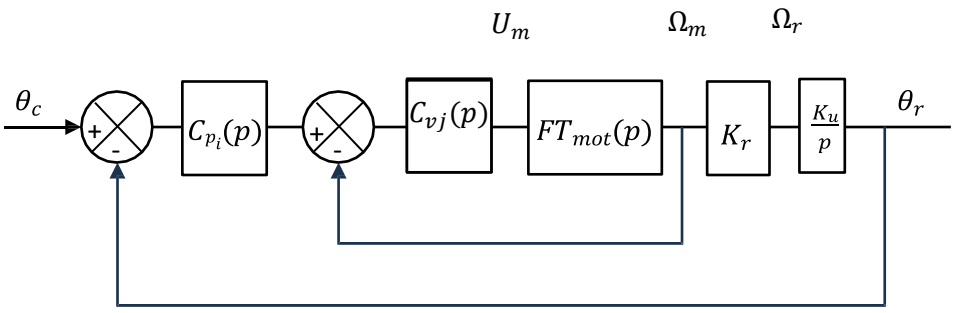
Question 43 : calculer les valeurs K_{p3} et K_{I3} de $C_{p3}(p)$ permettant de ne pas impacter fortement la stabilité.

Question 44 : tracer en rouge sur le document réponse DR1 les diagrammes de Bode asymptotique et réel de la fonction corrigée par $C_{p3}(p)$ et montrer que les marges n'ont pas ou peu changé.

III.3.3.2 – Étude de l'asservissement en position et vitesse

La fonction $C_{vj}(p)$ est la fonction de transfert d'un correcteur de la vitesse. L'indice j évolue de 4 à 5 dans le sujet pour étudier deux correcteurs de vitesse.

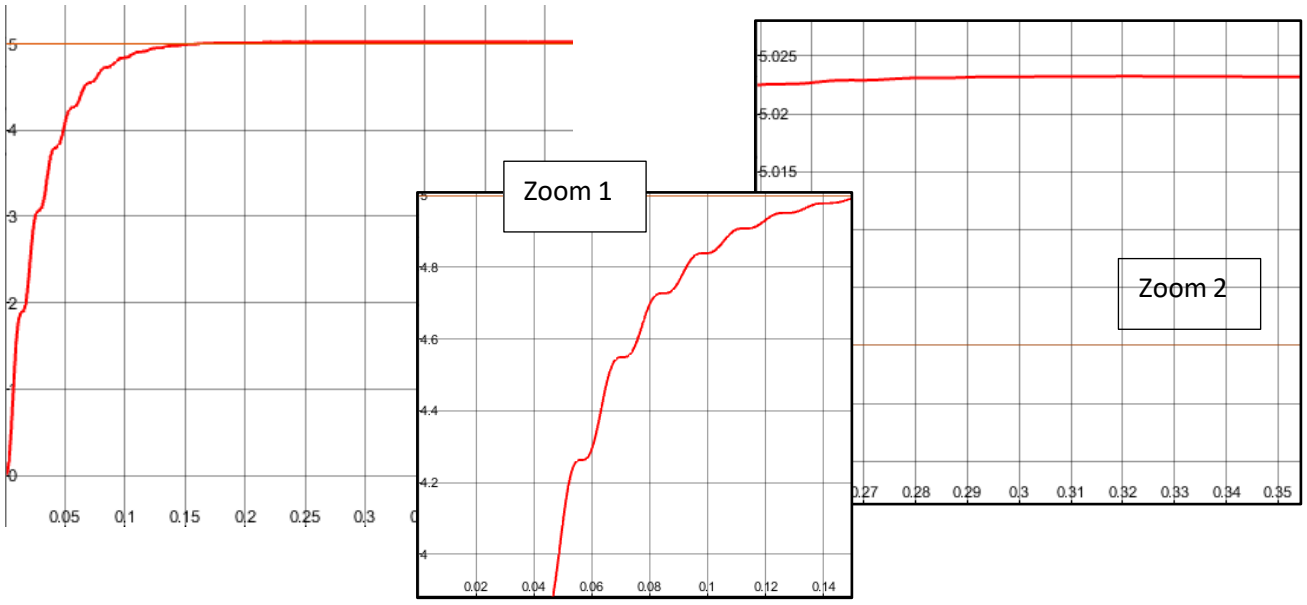
Le schéma bloc ci-dessous représente l'asservissement en vitesse et position de la tourelle.



Question 45 : donner l'avantage et l'inconvénient principaux d'asservir la vitesse de rotation du moteur plutôt que celle de la tourelle et conclure sur la pertinence du choix d'asservir la vitesse de rotation du moteur dans ce système.

On choisit $C_{p4}(p) = 5.C_{p3}(p)$ et $C_{v4}(p) = 150$.

La réponse à un échelon de 5° du système ainsi corrigé est la suivante :



Question 46 : mesurer le temps de réponse à 5%, mesurer l'erreur au bout de 0,3 s et expliquer pourquoi ce dernier critère est important lors de tirs sur un drone.

L'écart de tir est la distance entre la ligne de visée et la cible.

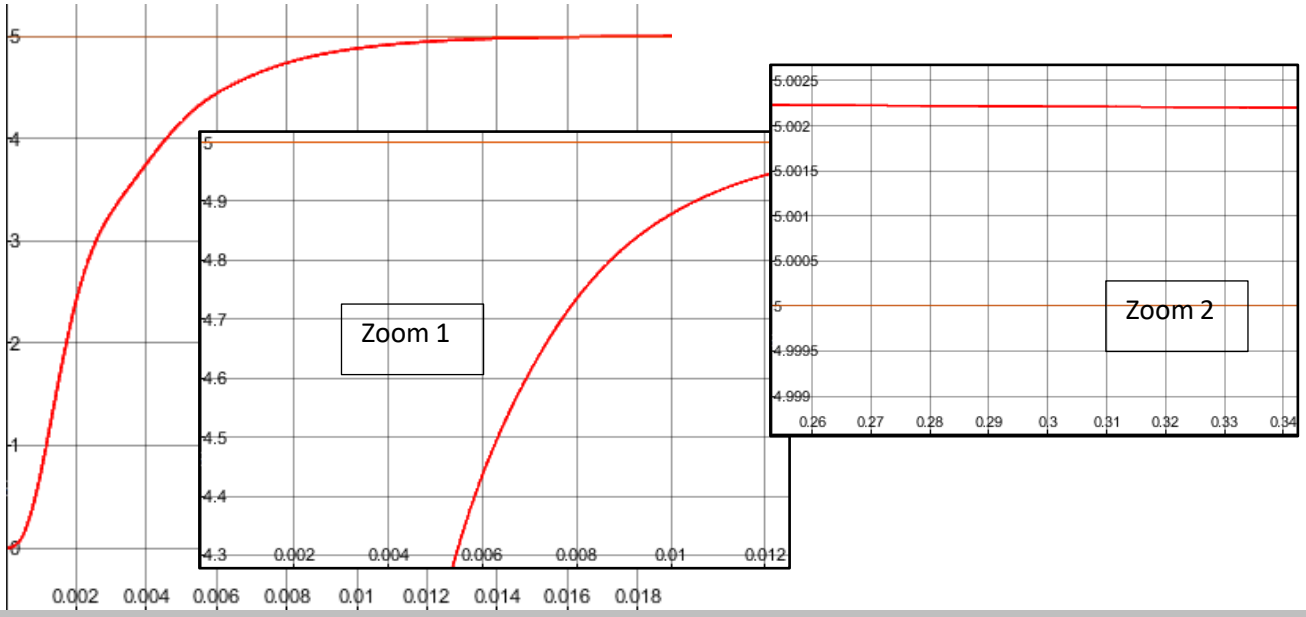
Question 47 : évaluer numériquement l'écart de tir sur une cible située à 4 km du BRF et conclure.

III.3.3.3 – Étude de l'asservissement en position, en vitesse et en courant

L'asservissement en vitesse sur les courants moteur permet d'améliorer les performances de la tourelle. Ce nouvel asservissement est corrigé par un correcteur $C_c(p)$.

Question 48 : à partir des schémas précédents, faire le schéma bloc de ce triple asservissement.

La boucle d'asservissement du courant permet de nouveau d'augmenter les gains $C_{p5}(p) = 50.C_{3p}(p)$, $C_{v5}(p) = 80$ et $C_c(p) = 50$. La réponse à un échelon de 5° est présentée ci-dessous.



Question 49 : expliquer qualitativement pourquoi l'asservissement en courant est un asservissement qui permet ici d'augmenter de manière très importante les performances de la tourelle.

Question 50 : évaluer numériquement le temps de réponse et l'écart de tir sur une cible située à 4 km du BRF et conclure.

Question 51 : en réalité le temps de réponse est proche de 0,03 s. Donner la principale cause possible qui expliquerait cet écart et comment il serait possible de la prendre en compte dans une modélisation numérique.

III.3.4 Étude d'une rotation de 80° de la tourelle

Après détection d'une menace, le viseur a dans son objectif une cible située à 80° de la tourelle. L'écart entre la position de la tourelle et la position de la cible est donc de 80°.

Question 52 : en prenant soin de bien expliquer chaque portion de la courbe et d'évaluer leur durée respective, tracer la réponse angulaire temporelle de la tourelle.

III.3.5 Étude des mouvements de la tourelle et du canon

Le canon et la tourelle peuvent tourner indépendamment pour viser la cible. L'ensemble des inerties et des masses sont parfaitement connues.

Question 53 : donner la démarche de calcul permettant d'obtenir les équations différentielles du mouvement de la tourelle et du canon en considérant que le BRF est associé à un référentiel galiléen.

Le BRF avance à une vitesse constante. Il tourne autour d'un axe vertical (le lacet) pour se diriger et la mer lui impose des angles de tangage et de roulis, ainsi qu'un déplacement vertical.

Question 54 : donner la démarche de calcul permettant d'obtenir les équations différentielles du mouvement de la tourelle et du canon en considérant cette fois que le BRF est associé à un référentiel **non galiléen**.

interENS

Numéro d'inscription | | | | | |

Numéro de table | | | | | | |

Né(e) le | | | | | | | | |

Nom : _____

Prénom : _____

Emplacement QR Code

Filière :

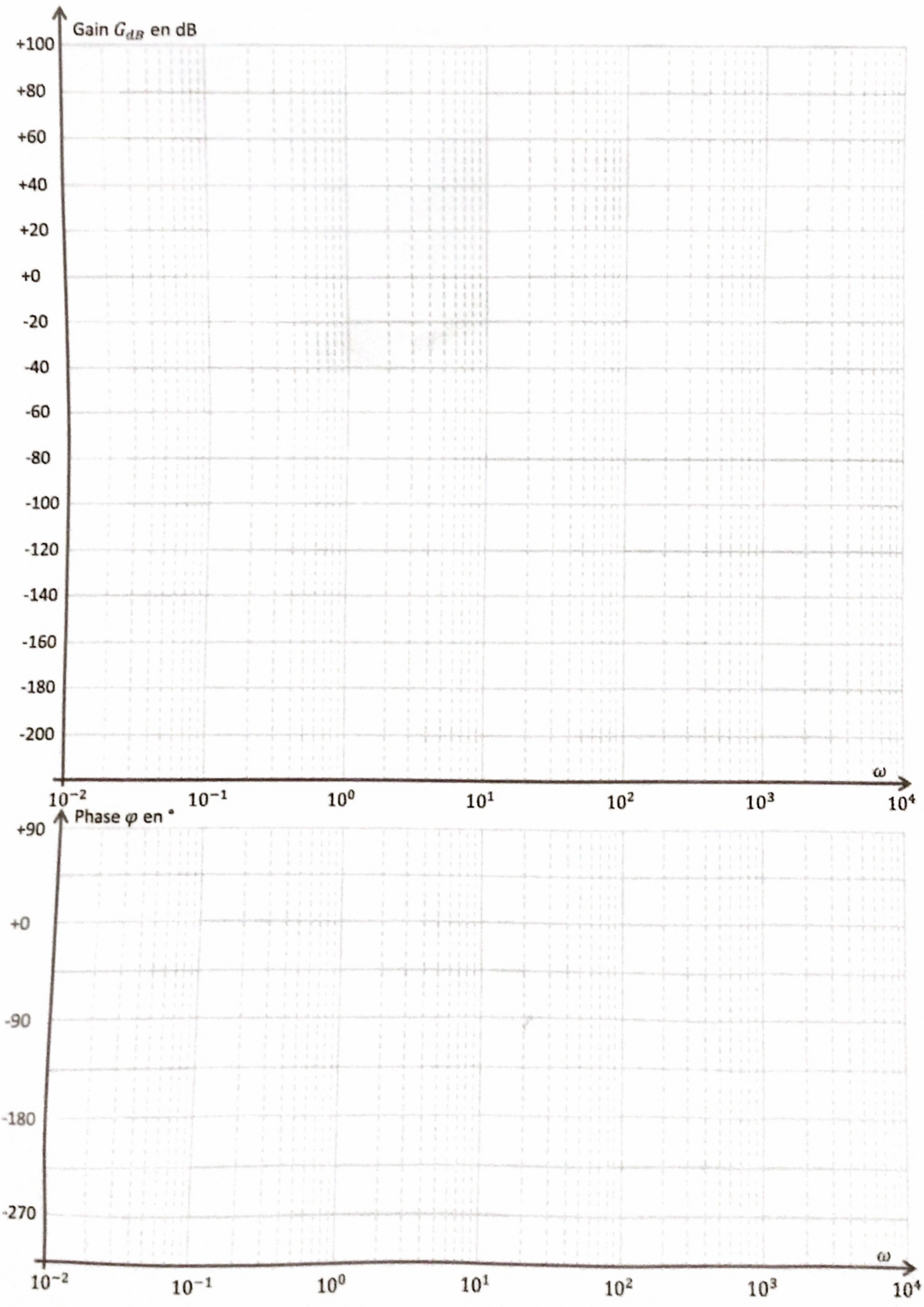
Session :

Épreuve de :

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

Document Réponse DR1



/

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI 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
- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Géométrie des masses : centre d'inertie, matrice d'inertie, théorème de Huygens
- Équations différentielles linéaires du second ordre
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente

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/x-ens/psi