

RapidFire & Robot Trooper

Rapid Fire

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.

1 Contexte et problématique

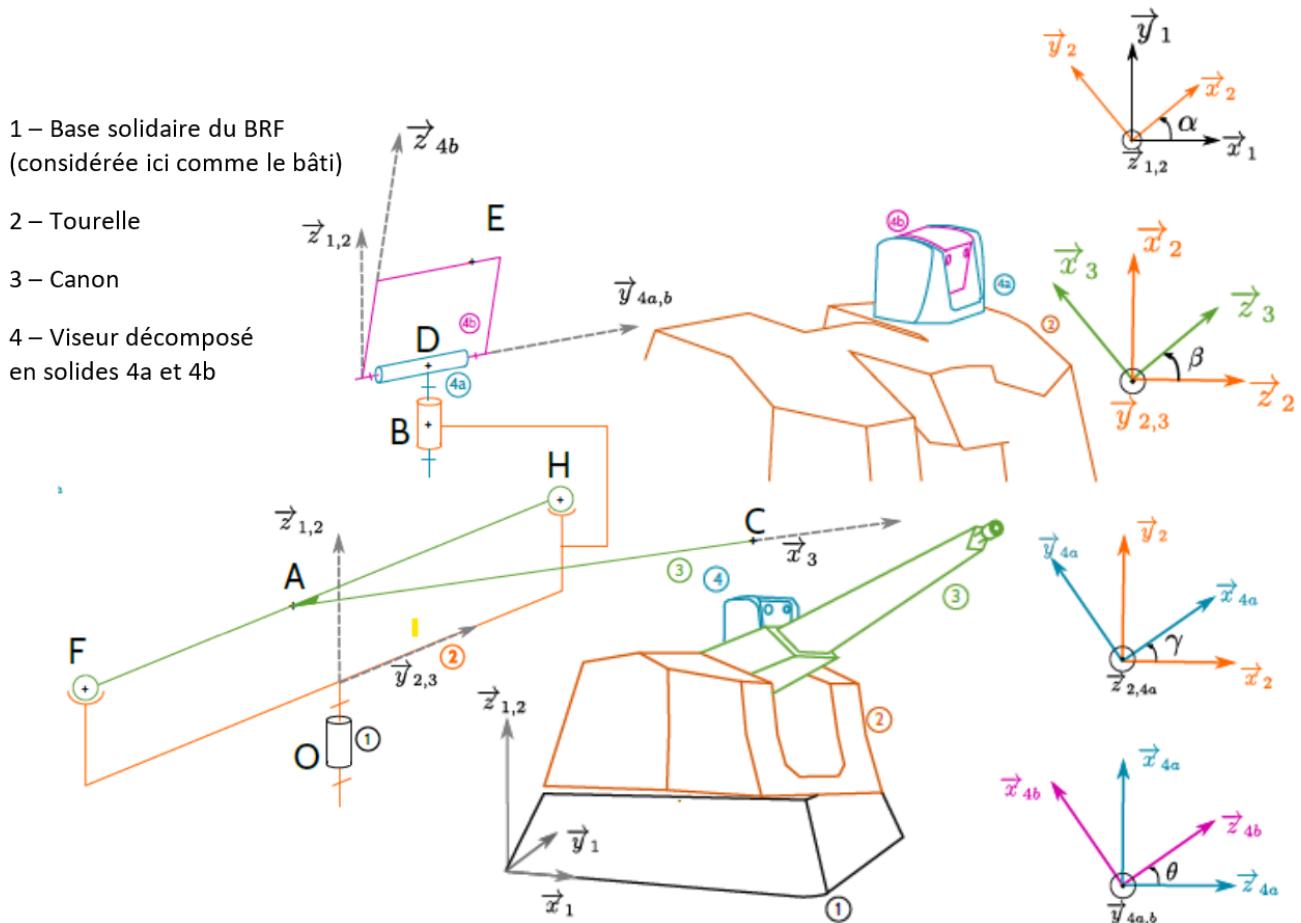


Pour détruire un drone volant, le système doit détecter le drone, connaître précisément sa position dans l'espace grâce au viseur du RAPIDFire Naval, viser (orienter le canon dans la direction du drone), tirer un projectile pour atteindre le drone. La détection est réalisée par des radars équipant le 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.

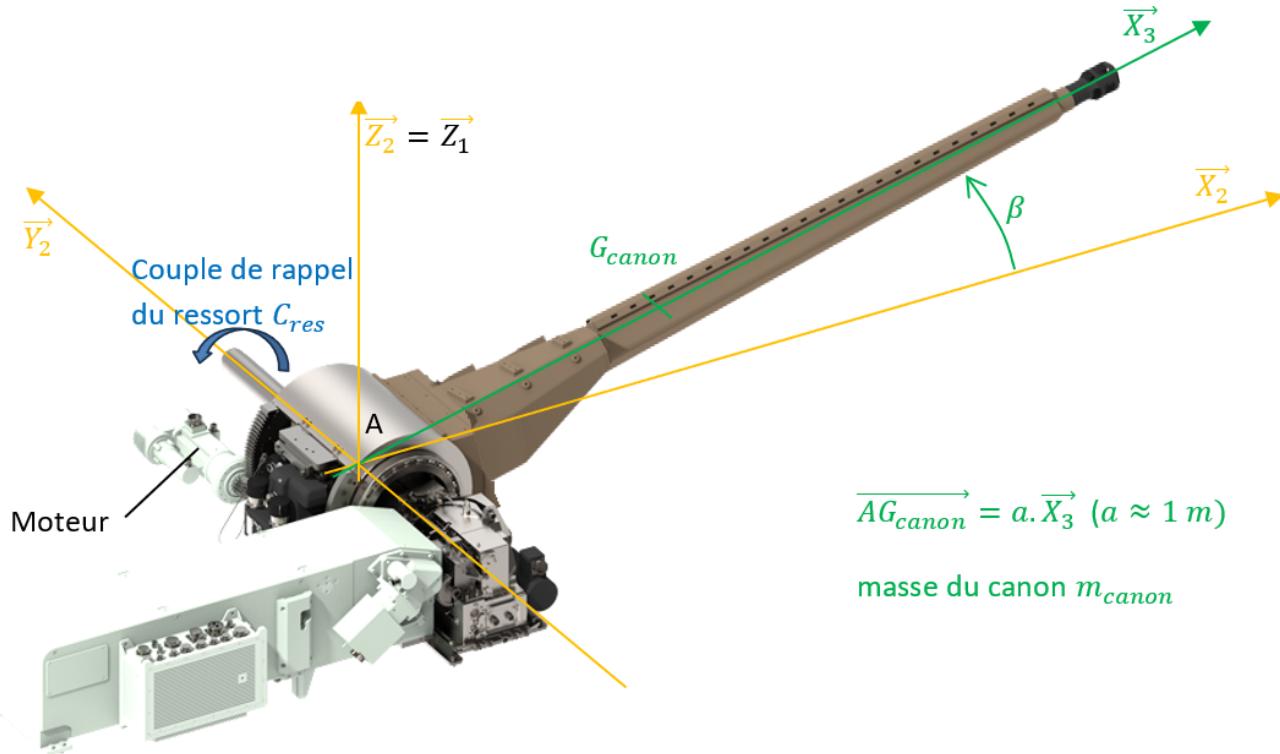
1.1 Étude de la cinématique du RAPIDFire Naval



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 Donner (sans démontrer) la liaison équivalente entre les pièces 2 et 3.

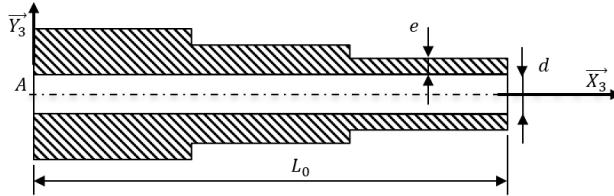
2 Étude de la motorisation du canon



DS 4

2.1 Caractéristiques géométriques et inertielles du canon

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



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

Question 3 Connaissant toutes les grandeurs géométriques, déterminer de manière littérale la position du centre de gravité G_{canon} dans le repère $(A; \vec{X}_3, \vec{Y}_3, \vec{Z}_3)$ 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 : $I_A(\text{canon})_{\mathcal{B}_3} = \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_3}$.

Question 4 Donner et justifier la forme simplifiée de la matrice $I_A(\text{canon})_{\mathcal{B}_3}$.

Question 5 Les valeurs des composantes non-nulles de la matrice d'inertie $I_A(\text{canon})_{\mathcal{B}_3}$ étant connues, calculer le moment d'inertie en rotation du canon $J_{A, \vec{z}_1}(\text{canon})$ par rapport à l'axe (A, \vec{z}_1) de rotation de la tourelle en fonction de l'angle β . Déterminer pour quelles valeurs de l'angle β cette inertie $J_{A, \vec{z}_1}(\text{canon})$ est minimale (J_{min}) et maximale (J_{max}). Donner l'expression de J_{min} et J_{max} .

2.2 Couple statique appliqué au canon pour le maintenir immobile

Le canon tourne autour de l'axe (A, \vec{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 $(A, \vec{X}_2, \vec{Z}_2)$, 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 6 Dans cette situation, déterminer le couple moteur C_{moteur} en fonction de k_t , m_{canon} , β , β_0 , g et a .

Question 7 Donner l'intérêt et l'inconvénient de placer un ressort compensateur de pesanteur sur le canon

ainsi que par rapport à l'ajout d'un contrepoids pour compenser l'effet de la pesanteur lorsque le canon tourne autour de l'axe (A, \vec{Y}_2) .

Le constructeur choisit de placer un contrepoids plutôt qu'un ressort compensateur. Deux solutions sont possibles pour le choix du contrepoids :

- solution 1 : un contrepoids de masse importante proche de l'axe de rotation ;
- solution 2 : un contrepoids de masse plus faible mais plus loin de l'axe de rotation.

Question 8 Du point de vue de la motorisation de la rotation du canon autour de l'axe (A, \vec{Y}_2) , en modélisant (faire un schéma) le contrepoids par une masse ponctuelle, montrer s'il est plus pertinent d'utiliser la solution 1 ou la solution 2.

2.3 Motorisation du canon avec contrepoids

Dans cette situation la tourelle 2 est fixe (référentiel galiléen). Les caractéristiques inertielles du canon avec son contrepoids sont : $I_A(\text{canon})_{\mathcal{B}_3} = \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_3}$ avec $B = 40 \text{ kgm}^2$.

Le centre d'inertie du canon et de son contrepoids est sur l'axe de rotation (A, \vec{Y}_2) . Le canon est motorisé par un motoréducteur exerçant un couple C_m à une vitesse $\dot{\beta}$. Le loi de vitesse est une loi en trapèze. Le canon doit pouvoir effectuer une rotation $\Delta\beta$ de 0 à 20° en moins de $T_t = 0,3 \text{ s}$. Les temps d'accélération et de décélération sont de $t_a = 0,1 \text{ s}$ chacun.

Question 9 Tracer l'allure des courbe de vitesse et d'accélération en précisant $\dot{\beta}_{max}$ et $\ddot{\beta}_{max}$.

Question 10 En appliquant un TMD en A sur \vec{Y}_2 au canon, déterminer l'équation différentielle du mouvement.

Question 11 En déduire le couple C_m du moteur puis la puissance P_m minimales du motoréducteur. Faire les applications numériques.

Question 12 Tracer sur un même graphique les allures (sans application numérique) : en bleu la courbe de couple C_m , en vert la courbe de vitesse ω_m et en rouge la courbe de puissance P_m du moteur au cours du temps.

3 Etude des performances du rapidfire

3.1 Étude des mouvements de la tourelle et du canon

3.1.1 Démarche d'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.

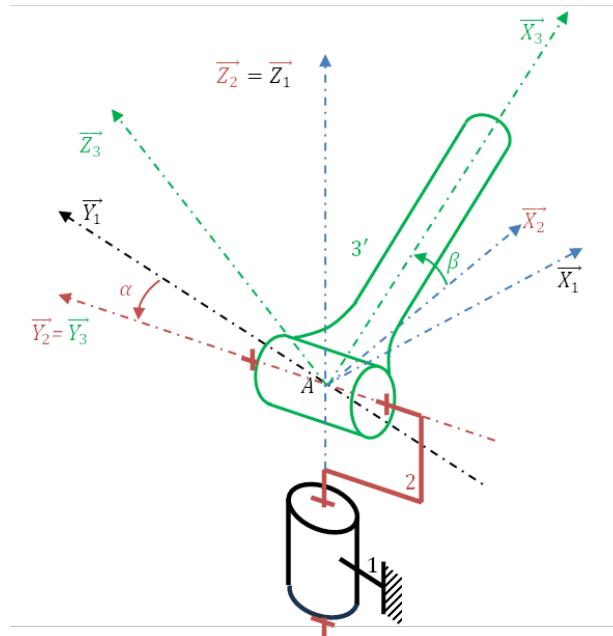
Question 13 Donner la démarche de calcul permettant d'obtenir les équations différentielles du mouvement de la tourelle et du canon en considérant que le BRF est associé à un référentiel galiléen.

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 14 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.

3.1.2 Démarche d'étude des mouvements de la tourelle et du canon

Le modèle utilisé pour la détermination des équations différentielles du mouvement est le suivant :



- $\alpha = (\vec{X}_1, \vec{X}_2) = (\vec{Y}_1, \vec{Y}_2)$
- $\beta = (\vec{Z}_2, \vec{Z}_3) = (\vec{X}_2, \vec{X}_3)$
- la matrice d'inertie du canon avec son contre-poids (ensemble noté 3') est de la forme $I_A(3')_{\mathcal{B}_3} = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_3}$
- la matrice d'inertie de la tourelle (2) est de la forme $I_A(2)_{\mathcal{B}_2} = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_2}$

Les centres d'inerties de (3') et de (2) sont confondus avec A. Les liaisons pivots sont motorisées par des moteurs mot₂ et mot₃ exerçant un couple C_{m_2} et C_{m_3} sur les pièces 2 et 3'.

Question 15 Isoler 3 et déterminer l'équation différentielle permettant d'exprimer le couple moteur C_{m_3} .

Question 16 Isoler 2+3 et déterminer l'équation différentielle permettant d'exprimer le couple moteur C_{m_3} .

On se place dans la situation où le canon est orienté correctement selon la vertical (β ne doit pas bouger) et où la tourelle tourne à vitesse constante ($\dot{\alpha} = \text{cte}$).

Question 17 Dans ces conditions, déterminer le couple moteur C_{m_3} .

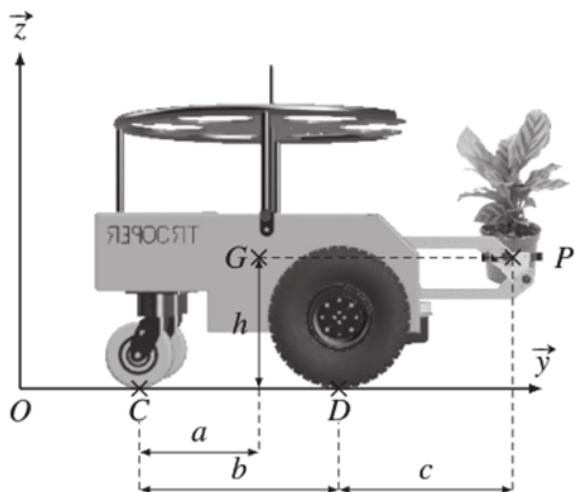
4 Basculement du robot Trooper

Le robot Trooper est un robot destiné à assister les agriculteurs lors de la plantation de végétaux. Il permet entre autre de transporter des végétaux et de les déposer à un endroit spécifié.

Objectif

- Exigence 1.5.2 : vitesse maximale : $1,1 \text{ m s}^{-1}$
- Exigence 1.5.3 : le robot doit pouvoir transporter des pots de 10 kg.

On utilise le paramétrage de la figure suivante.



Données :

$$\begin{aligned} a &= 30 \text{ cm} \\ b &= 45 \text{ cm} \\ c &= 40 \text{ cm} \\ h &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

On note $M = 60 \text{ kg}$ la masse du robot à vide et $m = 10 \text{ kg}$ la masse d'un pot. Le centre de gravité du robot à vide est noté G et le centre de gravité du pot est noté P . Le problème est supposé symétrique et plan, ce qui permet de considérer un demi-robot, de masse $M/2$, en contact en deux points C et D avec le sol et qui porte un demi-pot de masse $m/2$.

On suppose que les actions en C et D sont des glisseurs de résultantes : $\overrightarrow{R(\text{sol} \rightarrow \text{Roue arrière})} = N_C \vec{z} + T_C \vec{y}$ et $\overrightarrow{R(\text{sol} \rightarrow \text{Roue avant})} = N_D \vec{z} + T_D \vec{y}$.

Question 18 En précisant le système isolé et en choisissant une seule équation issue du principe fondamental de la statique, déterminer l'expression de l'effort normal sur la roue arrière N_C en fonction de g , a , b , c , M et m .

Question 19 Déterminer la masse maximale d'un pot qui entraîne le basculement du robot. Conclure vis-à-vis du diagramme des exigences.

On note γ l'accélération longitudinale du robot, C_{mr} le couple induit par les motoréducteurs sur les roues avant, r le rayon des roues avant, $f = 0,5$ le facteur de frottement des roues sur le sol. On néglige le moment d'inertie des roues selon leur axe de rotation.

Le problème est toujours supposé symétrique et plan, ce qui permet de considérer un demi-robot, de masse $M/2$, en contact en deux points C et D avec le sol. On se place dans le cas où le robot ne porte pas de pot. On peut montrer que :

1. $\frac{M}{2}\gamma = T_C + T_D$
2. $\frac{M}{2}g = N_C + N_D$
3. $-bN_C + (b-a)\frac{M}{2}g = -h\frac{M}{2}\gamma$

Question 20 Indiquer quel théorème a été utilisé pour obtenir chaque équation (nom du théorème, point, projection).

Question 21 Sachant que seule la roue avant est motrice (contact en D), en déduire l'expression littérale de T_D .

On retient une accélération égale à : $\gamma = 1,1 \text{ m s}^{-2}$.

Question 22 Justifier succinctement que $T_C = 0$. Déterminer numériquement T_D puis N_D pour les valeurs retenues et indiquer si la roue avant glisse ou non dans cette situation.

Question 23 En se plaçant à la limite du glissement en D , donner l'expression et la valeur de l'accélération maximale qu'il est possible d'avoir pour éviter le glissement. En déduire la durée de la phase d'accélération permettant d'atteindre la vitesse maximale dans ces conditions.