



**Faculté des sciences et génie
Baccalauréat en génie mécanique**

TP5 : Mise a feu

**Cours
Modélisation en ingénierie
GMC-3001**

**Travail présenté à :
Philippe Cardou**

Date de remise : 13 Avril 2018

Équipe 23

LEGENDRE Dominic 909 342 528

AHMED Ammar 111 090 688

ABANDA MBELE Steve 111 063 434

TAM Bryan-Elliott 111 133 063

I. Introduction :

Les systèmes de mise à feu automatique sont des systèmes très convoités par les organisations militaires, mais un de problèmes les plus courants étant la précision afin d'abattre une cible en mouvement, donc dans le but d'améliorer et de développer cette technologie une modélisation de ce problème est réalisée à l'aide de Matlab/Simulink.

Dans le cadre de ce projet le système de mise à feu automatique sera représenté par un char qui se déplace à une accélération constante munie d'un canon qui la capacité de tourner sur deux axes de rotation, un missile avec une masse et des coefficients de traînée et de portance constants et une cible qui se déplace à vitesse constante. La relation entre les positions et les vitesses du char, du missile et de la cible, ainsi que la position angulaire du canon serait étudiée afin de développer davantage cette technologie.

II. Identification du problème :

Le problème consiste à étudier la relation entre les positions et les vitesses du char, du missile et de la cible en x, y et z ainsi que l'influence de la rotation du canon sur lui-même et sa rotation par rapport à la verticale. Il est supposé que le char se déplace à accélération constante et n'est pas affecté par son environnement, il est supposé que les dimensions du canon n'influencent pas le mouvement du missile donc un coefficient de frottement nul entre les parois du canon, il est supposé que la cible n'est pas affecter par la traînée ou la portance, il est supposé que l'intervalle d'angle de rotation du canon est de $[0, 2\pi]$ sur lui-même et de $[0, \frac{\pi}{2}[$ par rapport à la verticale et il est supposé que le missile a une forme sphérique. Afin de réaliser une séquence de tir réaliste, il faut préalablement définir certains paramètres : la masse du missile et ces coefficients de traînée et de portance constants, une position, une vitesse et accélération de la cible afin de tester le modèle, une force initiale instantanée du canon appliqué sur le missile. Le coefficient de traînée a été supposé avec un Reynolds de $5 * 10^5$ et le coefficient de portance a été assumé à 0.05.(Dumas, 2015)

La figure 2.1 est un tableau qui simplifie certaines des hypothèses considérées :

Char	Canon	Missile	Cible
- $x0 = ?$	- $r_{missile_canon} =$	- $m = 20\text{ kg}$	- $x0 = 10\text{ m}$
- $y0 = ?$	2 m^*	- $Cd = 0.15$	- $y0 = 27\text{ m}$
- $z0 = 0$	- $Fc = 14700\text{ N}$	- $Cl = 0.05$	- $z0 = 40\text{ m}$
- $vx0 = ?$	- $\theta0 = ?$	- $Rho =$	- $vx0 = 24\text{ m/s}$
- $vy0 = ?$	- $\varphi0 = ?$	1.225 kg/	- $vy0 = 10\text{ m/s}$
- $vz0 = 0$	- $\omega_{\theta}0 = 1$	m^3	- $vz0 = 28\text{ m/s}$
- $ax = ?$	- $\omega_{\varphi}0 = 1$	- $D = 0.4\text{ m}$	- $ax = 5\text{ m/s}^2$
- $ay = ?$	- $\alpha_{\theta} = 0$	- $g =$	- $ay = 8\text{ m/s}^2$
- $az = 0$	- $\alpha_{\varphi} = \frac{\pi}{4}\text{ rad/s}^2$	9.81 m/s^2	- $az = 2\text{ m/s}^2$

Figure 2.1 : Tableau des variables.

* $r_{missile_canon}$: Distance entre le point de rotation du canon et le missile.

III. Procédure de résolution :

En se basant sur les hypothèses et les constantes posées précédemment un fichier Matlab contenant toutes ces informations est créé pour ensuite être utilisé dans une simulation faite à l'aide de Simulink. Un ensemble de systèmes et de sous-systèmes est utilisé pour structurer et simplifier la compréhension du modèle.

Après l'exécution de la simulation les données mesurées sont les courbes de trajectoires du missile du char et de la cible ainsi que de leurs vitesses. Les relevées obtenues seront transférées à un fichier Matlab afin d'optimiser la précision de tir du char d'assaut.

IV. Application de la procédure :

Voir les fichiers Matlab et Simulink pour la résolution, la figure 4.1 donne un aperçu général de la simulation.

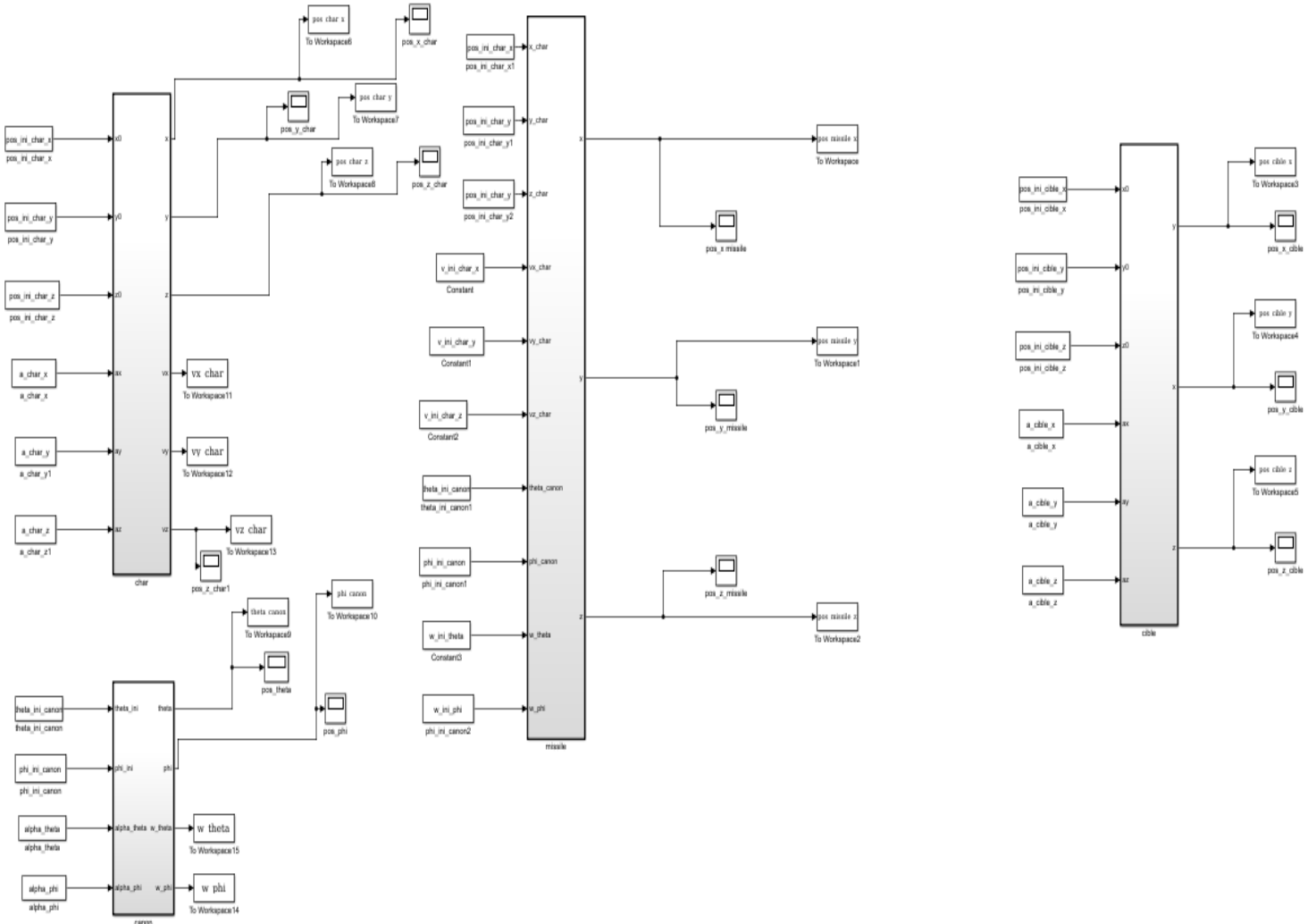


Figure 4.1 : Schéma général de la simulation.

Étant donné que le problème a été divisé en plusieurs sous-systèmes il faut les analyser un à un pour mieux visualiser le problème. Afin d'analyser la trajectoire du missile il faut obtenir les coordonnées de la position du char pour cela on analyse le sous-système "Char" qui prend comme intrant la position initiale du char et ces accélérations pour obtenir une trajectoire du mouvement en fonction du temps de ce dernier ainsi que sa vitesse en résolvant les équations de mouvement si dessous, on peut voir les coordonnées de ce dernier dans les figures 4.2, 4.3 et 4.4.

$$x = x_{0_{char}} + v_{x_{char}} * t + 0.5 * a_{x_{char}} * t^2 \quad (1)$$

$$y = y_{0_{char}} + v_{y_{char}} * t + 0.5 * a_{y_{char}} * t^2 \quad (2)$$

$$z = z_{0_{char}} + v_{z_{char}} * t + 0.5 * a_{z_{char}} * t^2 \quad (3)$$

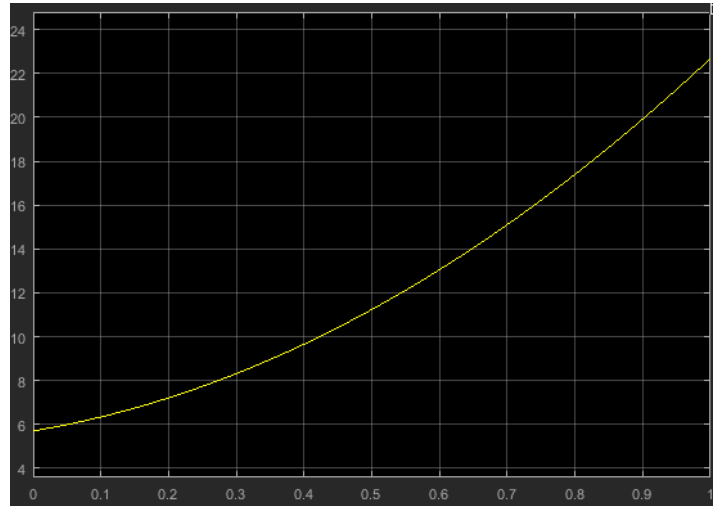


Figure 4.2 : Position en x du char.

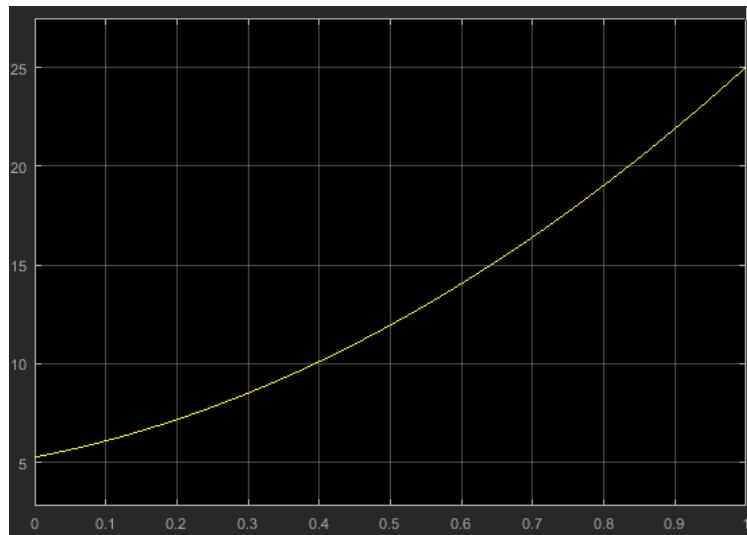


Figure 4.3 : Position en y du char.

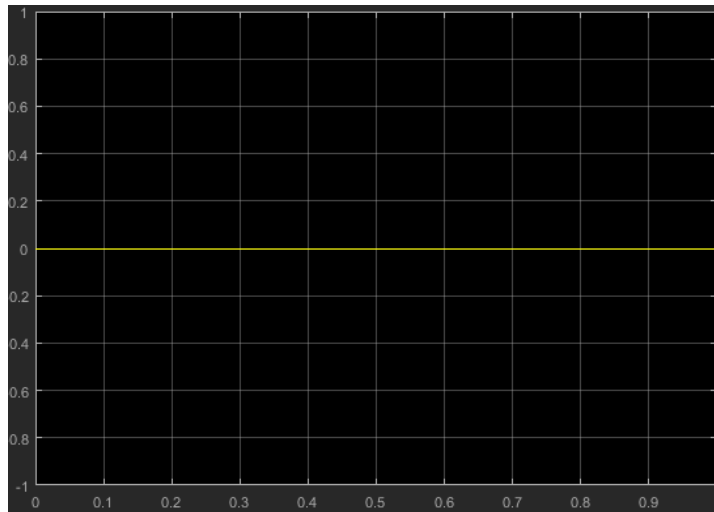


Figure 4.4 : Position en z du char.

Les figures 4.4 et 4.5 permettent de vérifier l'authenticité de notre sous-système "Char" puisque la vitesse et la position en z est nul ce qui cohérent.

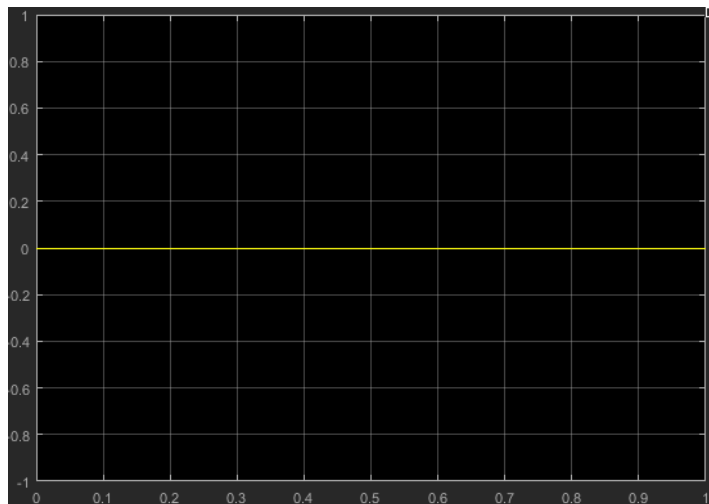


Figure 4.5 : Vitesse en z du char.

Ensuite pour obtenir la position du canon au moment de la mise a feux on analyse le sous-système "Canon" qui prend comme intrant la position angulaire initiale du canon, son accélération angulaire sur lui-même ainsi que son accélération angulaire par rapport à l'axe vertical tout en respectant les contraintes de variation d'angle

qui limite sa rotation par rapport à la verticale entre $[0, \frac{\pi}{2}[$, afin d'obtenir la position et les vitesses angulaires du canon au moment du tir en résolvant les équations si dessous.

$$\theta = \theta_i + \omega_\theta * t + \alpha_\theta * 0.5 * t^2 \quad (4)$$

$$\varphi = \varphi_i + \omega_\varphi * t + \alpha_\varphi * 0.5 * t^2 \quad (5)$$

Les figure 4.6 et 4.7 donnent un aperçu de la rotation du canon.

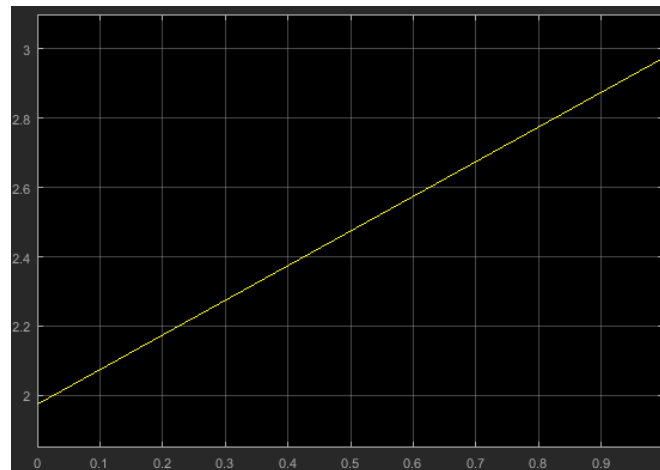


Figure 4.6 : Position angulaire du canon sur lui-même (theta).

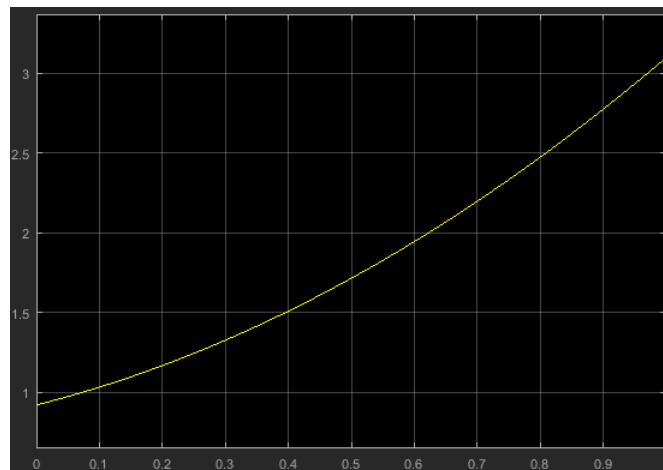


Figure 4.7 : Position angulaire du canon par rapport à la verticale (ϕ).

Pour analyser le comportement du missile on a besoin d'analyser le sous-système "missile" qui prend comme intrant les positions et vitesses du char ainsi que celles du canon pour établir leurs relations avec le comportement du missile. Pour commencer l'analyse du mouvement du missile, la force F_c de tir du canon a été simulée comme une impulsion au temps initial pour obtenir les composantes F_{cz} et F_{cxy} suivant les équations suivantes :

$$F_{cz} = F_c * \sin(\phi) \quad (6)$$

$$F_{cxy} = F_c * \cos(\phi) \quad (7)$$

Ces composantes sont ensuite utilisées pour calculer les forces de traînée qui sont toujours opposées au mouvement du missile et de portance qui influence le mouvement du missile selon les équations suivantes :

$$F_{trainner} = v_{missile}^2 * 0.5 * \rho * A * C_d \quad (8)$$

$$F_{portance} = v_{missile}^2 * 0.5 * \rho * A * C_l \quad (9)$$

Par la suite il faut déterminer l'influence de ces forces sur la décélération du missile selon les équations suivantes :

$$a_z = \frac{F_{portance} + F_{cz} - m * g}{m} \quad (10)$$

$$a_{xy} = \frac{F_{cxy} - F_{trainner}}{m} \quad (11)$$

Les résultats obtenus si dessus permettent de calculer les composantes de la vitesse du missile en x, y et z selon les équations suivantes :

$$v_{x_{missile}} = \int a_{xy} * \cos(\theta) \quad (12)$$

$$v_{y_{missile}} = \int a_{xy} * \sin(\theta) \quad (13)$$

$$v_{z_{missile}} = \int a_z \quad (14)$$

Les composantes de vitesses obtenues combinées aux composantes de vitesses du char permettent de calculer le mouvement relatif du missile par rapport au char selon les équations suivantes :

$$v_{x_{missile_r}} = v_{x_{missile}} + v_{x_{char}} \quad (15)$$

$$v_{y_{missile_r}} = v_{y_{missile}} + v_{y_{char}} \quad (16)$$

$$v_{z_{missile_r}} = v_{z_{missile}} + v_{z_{char}} \quad (17)$$

Ces résultats permettent de calculer le mouvement relatif du missile par rapport au canon selon les équations suivantes :

$$v_{x_{missilerr}} = v_{x_{missile_r}} - \omega_\theta * r_{missile_{canon}} \quad (18)$$

$$v_{y_{missilerr}} = v_{y_{missile_r}} + \omega_\theta * r_{missile_{canon}} \quad (19)$$

$$v_{x_{missilerr}} = v_{z_{missile_r}} - \omega_\phi * r_{missile_{canon}} \quad (20)$$

Ces résultats permettent de déterminer la trajectoire du missile en résolvant les équations de mouvement suivantes :

$$x_{missile} = x_{0_{char}} + v_{x_{missilerr}} * t + 0.5 * a_{x_{missile}} * t^2 \quad (21)$$

$$y_{missile} = y_{0_{char}} + v_{y_{missilerr}} * t + 0.5 * a_{y_{missile}} * t^2 \quad (22)$$

$$z_{missile} = z_{0_{char}} + v_{z_{missilerr}} * t + 0.5 * a_{z_{missile}} * t^2 \quad (23)$$

Les figures 4.8, 4.9 et 4.10 représente le mouvement du missile dans l'espace.

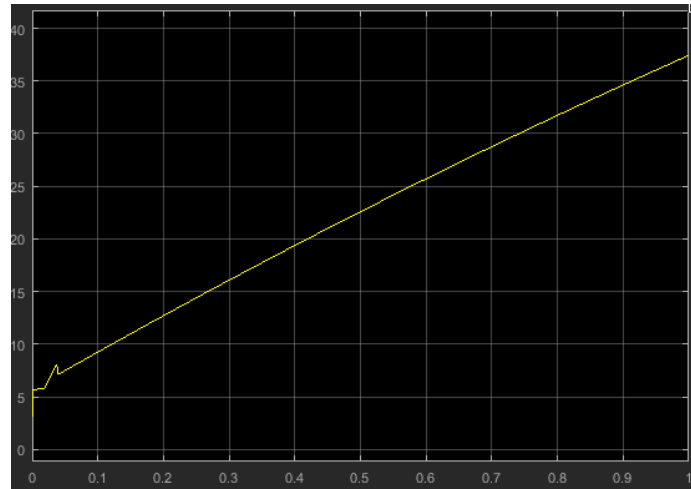


Figure 4.8 : Position x du missile.

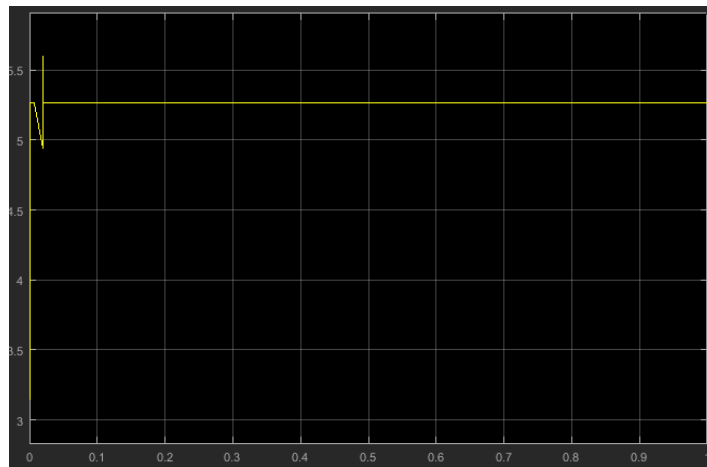


Figure 4.9 : Position y du missile.

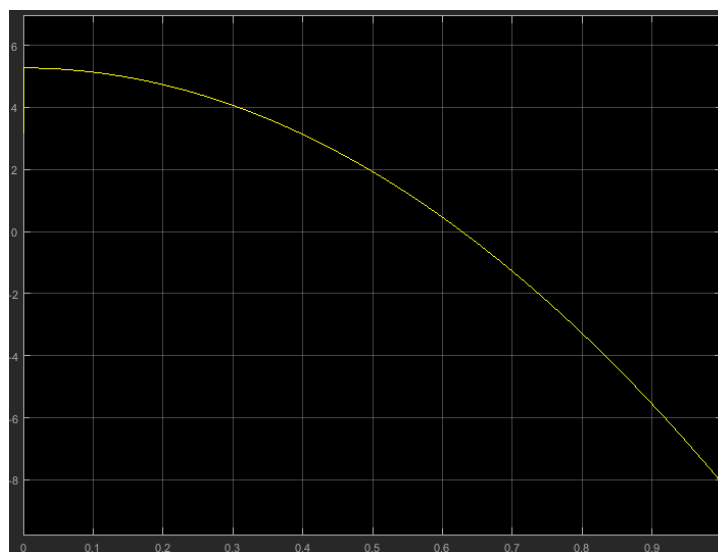


Figure 4.10 : Position z du missile.

Afin d'analyser le comportement de la cible, il faut analyser le sous-système "Cible" qui prend comme intrant la position initiale de la cible et son accélération pour obtenir une trajectoire du mouvement de la cible. Cette trajectoire est obtenue en résolvant les équations de mouvement suivantes :

$$x_{cible} = x_{0_{cible}} + v_{x_{cible}} * t + 0.5 * a_{x_{cible}} * t^2 \quad (24)$$

$$y_{cible} = y_{0_{cible}} + v_{y_{cible}} * t + 0.5 * a_{y_{cible}} * t^2 \quad (25)$$

$$z_{cible} = z_{0_{cible}} + v_{z_{cible}} * t + 0.5 * a_{z_{cible}} * t^2 \quad (26)$$

Les figures 4.11, 4.12 et 4.13 représente le mouvement de la cible dans l'espace.

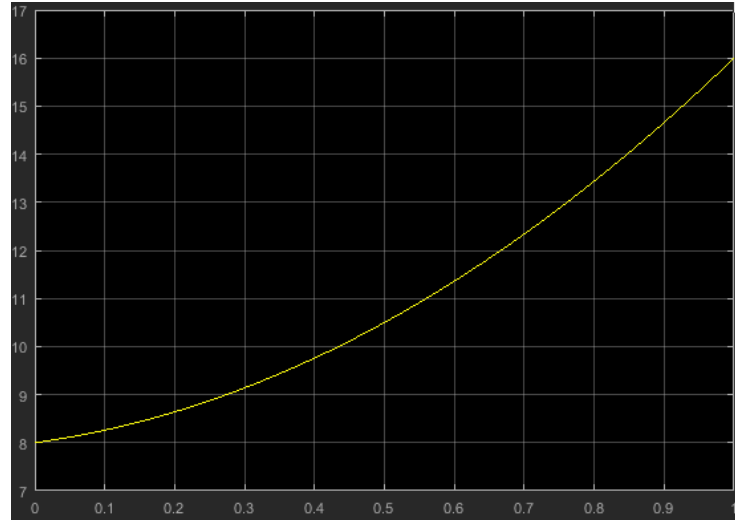


Figure 4.11 : Position x de la cible.

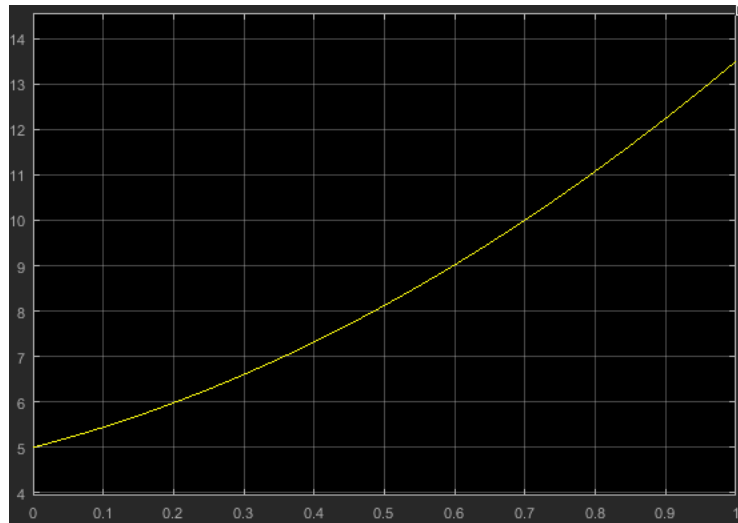


figure 4.12 : Position y de la cible.

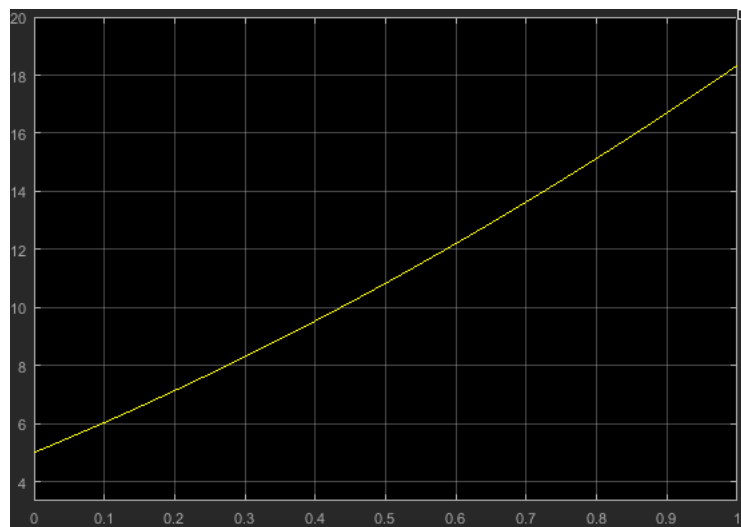


figure 4.13 : Position z de la cible.

Les positions, vitesses et angles trouver précédemment sont par la suite exportés sur Matlab pour optimiser la précision de tir du char d'assaut.

Afin d'optimiser la précision du tir une fonction `'simulation_missile.m'` a été défini. Cette fonction prend en paramètres d'entrée les positions initiales, vitesses initiales, accélérations du char ainsi que les angles initiaux du canon. Cette fonction permet de lancer la simulation avec ces paramètres et de déterminer la distance minimale entre le missile et la cible durant la simulation. Dans un autre script `'marche.m'`, la fonction `'fminsearch'` qui permet de trouver le minimum d'une fonction multivariable a été utiliser afin de minimiser la distance entre le missile

et la cible donner dans la fonction 'simulation_missile.m'. 'fminsearch' a besoin de paramètres initiaux afin de faire ses premières évaluations et ceux-ci ont été choisis aléatoirement. Dans un script 'visualisation.m' le graphique de la trajectoire du missile et de la cible est produit voir figure 4.14 et le temps avant impact est calculé.

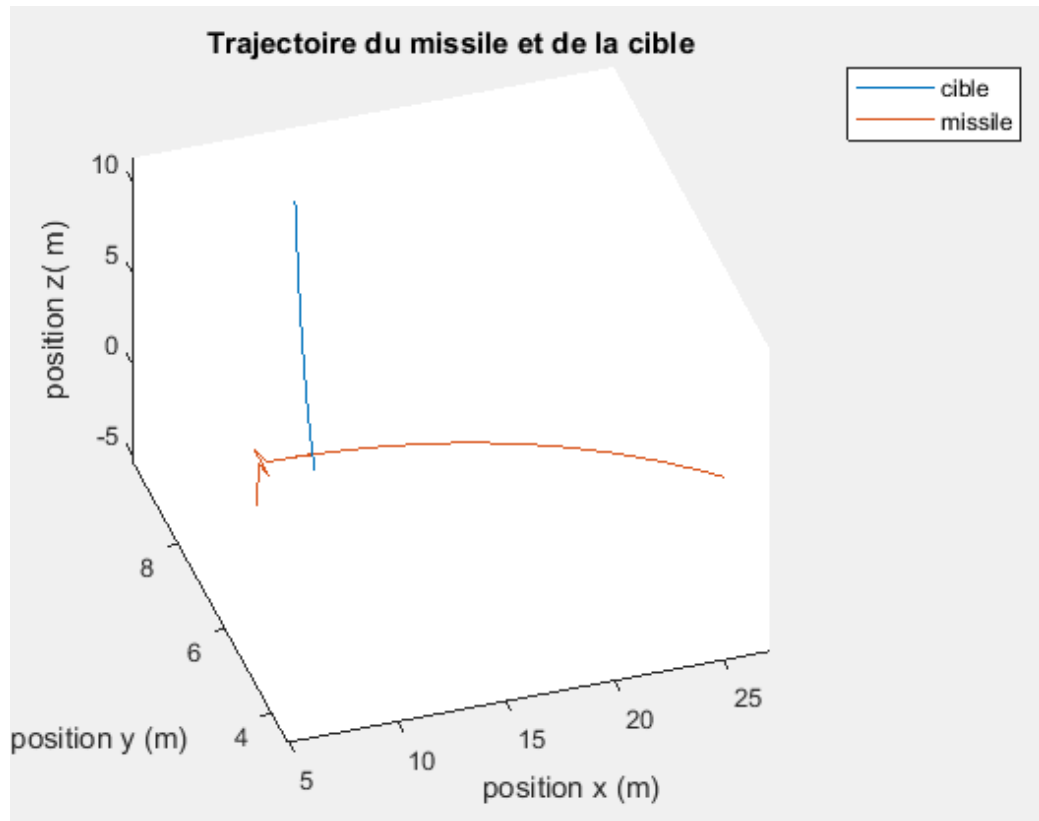


Figure 4.14 : Trajectoire du missile et de la cible.

V. Évaluation de la solution :

Afin de valider l'exactitude de la solution, plusieurs graphiques ont été tracés. On remarque un comportement inhabituel au début de la trajectoire. Ce comportement est étudié plus en détail dans les graphiques en 2D des figures 5.1, 5.2 et 5.3 qui étudie les positions du missile en x, y et z ce qui montre que ce comportement n'est qu'au début de la trajectoire et dure peu de temps, donc il est sûrement dû aux changements de conditions au début de la simulation causée par l'impulsion du canon, les forces de portance et de trainé qui sont dépendant des

vitesse qui varie beaucoup au début de la simulation dû à l'impulsion et à l'utilisation de méthodes numériques.

Donc le comportement cinétique du missile semble être correct, car la vitesse de celui-ci diminue dans toutes ces composantes et le missile progresse en x et reste stable en y alors que l'angle de lancer entre x et y est proche de 0, et il chute en z . Et la norme de la vitesse du missile diminue ce qui est cohérent avec l'influence de la force de traînée.

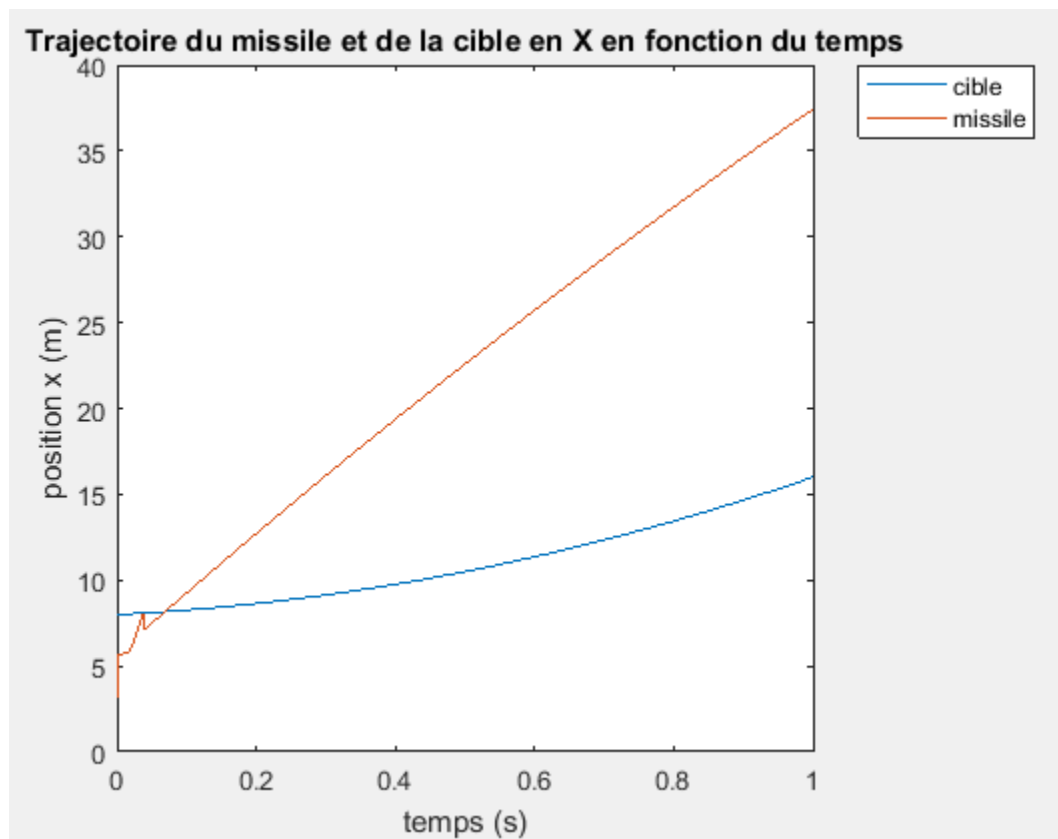


Figure 5.1 : Trajectoire du missile et de la cible en x en fonction du temps.

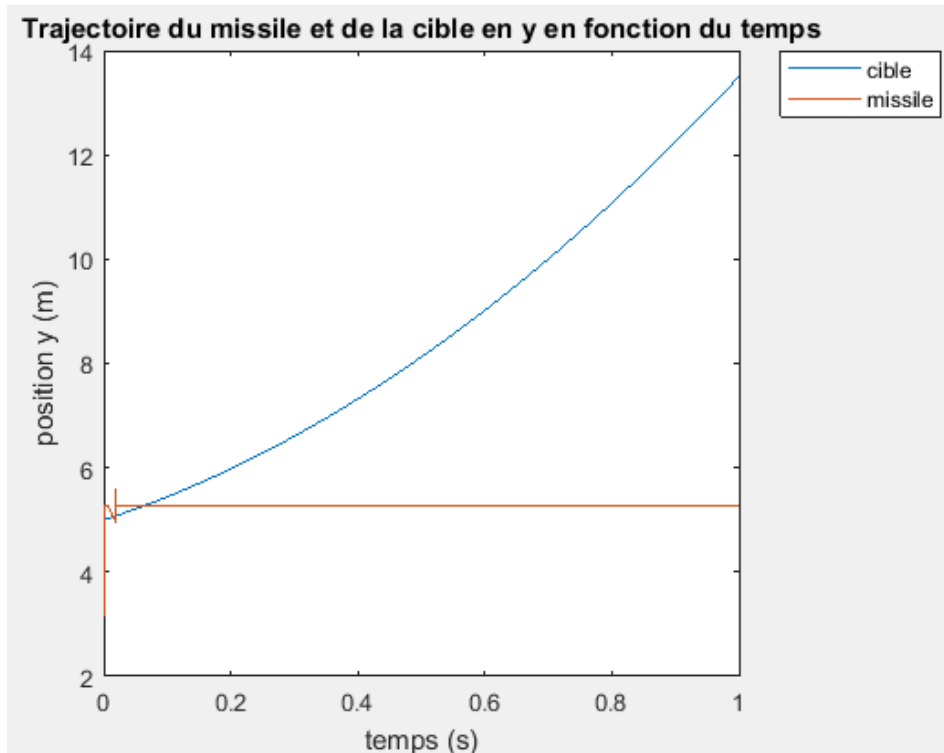


Figure 5.2 : Trajectoire du missile et de la cible en y en fonction du temps.

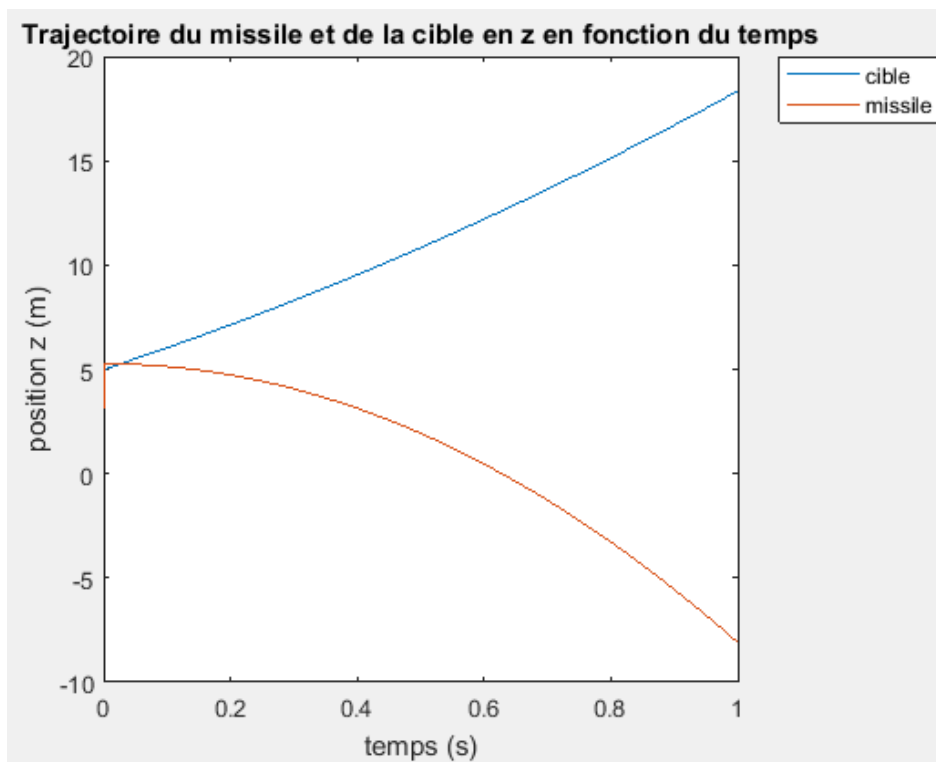


Figure 5.3 : Trajectoire du missile et de la cible en z en fonction du temps.

En ce qui concerne le Reynolds celui-ci est du même ordre de grandeur que l'hypothèse ce qui confirme le choix du coefficient de traînée.

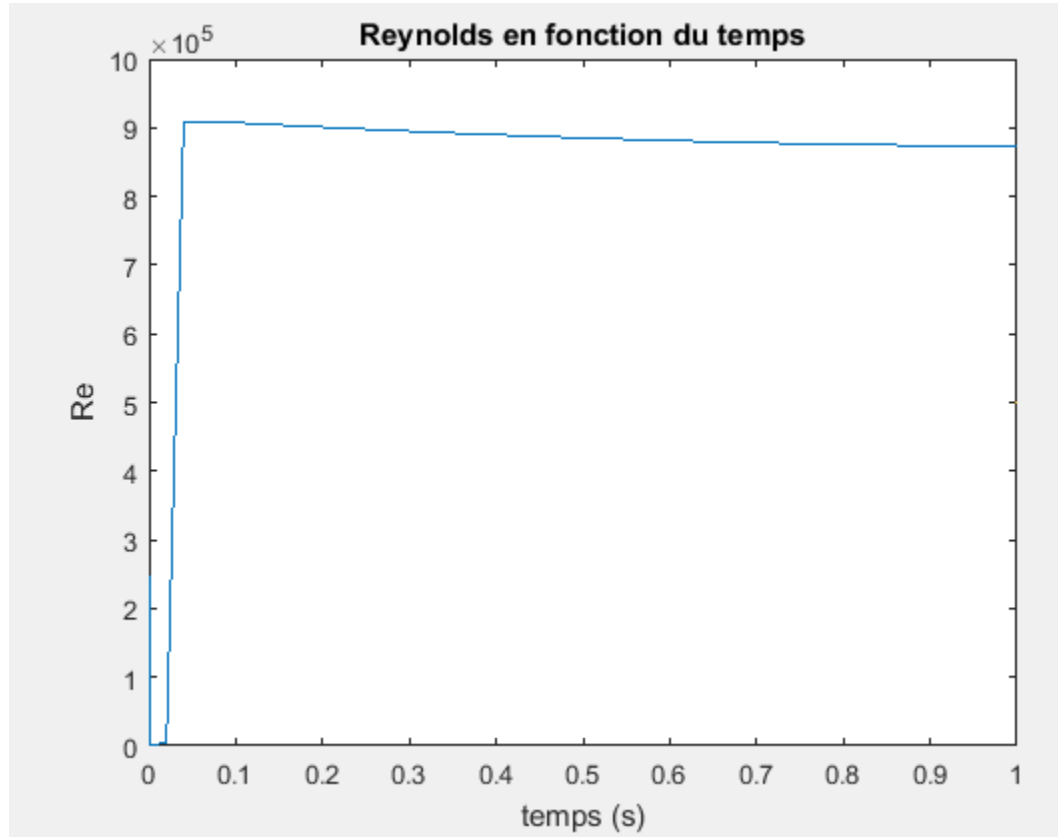


Figure 5.4 : Reynolds en fonction du temps.

VI. Conclusion :

Afin d'atteindre la cible test le char doit être initialement à la position 5.71 mètres en x et 5.26 mètres en y et doit avoir une vitesse de 5.16 mètres par seconde en x et 6.99 mètres par seconde en y et une accélération de 7.87 mètres par seconde carrés en x et 8.51 mètres par seconde carrés en y. Le canon doit avoir un angle initial de 1.97 radian sur lui-même et 0.92 radian par rapport à la verticale. Afin de rendre le système plus utile dans des situations réelles il serait utile de faire une fonction qui choisirait intelligemment les paramètres initiaux pour la fonction "fminsearch" ce qui diminuerait grandement les temps de calcul.

Bibliographie :

G.Dumas. Dynamique des fluides appliquée. Document d'accompagnement
Université Laval, Québec, QC, Canada, 2015

How rocket propelled grenades work.

<https://science.howstuffworks.com/rpg3.htm> , 2018.

Air.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Air> , 2018.