

Lanceur de balles

Simulation multiphysique d'un lanceur de balles pneumatique.

Ci-contre, la fenêtre de définition des paramètres, qui sont les suivants par défaut :

Pour la balle (tennis) :

- Diamètre de balle (65 mm) ;
- Masse de la balle (63 g) ;
- Effort de frottement dans le tube (20 N) ;
- Coefficient de traînée au cours du vol (0.47).

Pour le réservoir :

- Pression d'air dans le réservoir (6 bars) ;
- Volume du réservoir (4.8 l) ;
- Diamètre de la section de passage (12 mm) ;
- Temps d'ouverture de la valve (0.1 s) ;
- Coefficient de décharge Cd (0.8).

Pour le tube :

- Longueur du tube (600 mm) ;
- Volume mort de la chambre (330 cm³)
- Inclinaison sur l'horizontale (40°) ;

Modèle

Le modèle est basé sur deux ensembles de lois de comportement physique :

- L'étude de l'écoulement d'air à travers un orifice entre le réservoir sous pression, supposée constante, et la chambre du tube à l'arrière de la balle, à une pression inférieure ;
- L'application du PFD à la balle en prenant en compte la pesanteur, les actions "motrices" de l'air dans le tube, un peu de frottement sur les parois, et la résistance de l'air au cours du vol.

Deux phases sont étudiées successivement :

- La phase d'impulsion pendant laquelle la balle est à l'intérieur du tube, soumise à une différence de pression entre ses deux faces, et à l'effort de frottement supposé constant ;
- Une phase de vol au cours de laquelle la balle a quitté le tube, soumise à la pesanteur et à un effort de traînée aérodynamique.

Écoulement et variation de pression dans la chambre :

Débit du réservoir vers la chambre :
$$q_m(t) = C_d S \sqrt{\rho_r p_r \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (\text{D'après A. Barré de Saint-Venant})$$

Par intégration, on en déduit l'évolution de la masse d'air $m(t)$ dans la chambre au cours du temps.

Loi des gaz parfaits, à température constante : $p(t) V(t) = m(t) R_s T$ (d'après [Wikipédia](#)),
qui permet de calculer la pression $p(t)$ connaissant le volume $V(t)$: $V(t) = V_0 + S x(t)$ où $x(t)$ est
déplacement de la balle et V_0 le volume initial de la chambre.

Le même principe est appliqué à la diminution de la pression dans le réservoir, du fait du débit d'air sortant.

Principe fondamental de la dynamique :

Pendant la phase d'impulsion : $M_b \ddot{x}(t) = p(t) S - F_{fr}$ en projection suivant la direction de l'axe du tube. La pesanteur est négligée.

Pendant la phase de vol :

$$\begin{cases} M_b \ddot{x}(t) = -\frac{1}{2} C_x \rho S v(t) v_x(t) \\ M_b \ddot{y}(t) = -M_b g - \frac{1}{2} C_x \rho S v(t) v_y(t) \end{cases}$$

Résultats :

Les résultats de la simulation sont enregistrés par défaut dans la feuille active du fichier Excel.

Des listes de cases à cocher permettent d'afficher les principaux paramètres, de la phase d'impulsion dans le tube ou de la phase de vol libre.