Modélisation Physique d'un Simulateur de Voilier 2D

Étude de Mécanique Appliquée

10 février 2026

1 Introduction et Hypothèses

L'objectif est de modéliser la dynamique d'un voilier (modèle réduit de classe 1 mètre) évoluant dans un plan horizontal (2D). Nous considérons trois degrés de liberté : les translations selon les axes x et y (Surge et Sway) ainsi que la rotation autour de l'axe vertical z (Yaw).

1.1 Hypothèses simplificatrices

- Le fluide est considéré comme incompressible et stationnaire localement.
- Les effets de gîte (roulis) et de tangage sont négligés en 2D pur.
- La coque est considérée comme un corps rigide.

2 Paramètres et Constantes du Système

Les constantes suivantes sont utilisées pour les calculs numériques :

- **Masse du navire (m)** : $4,0$ kg
- **Moment d'inertie (I_z)** : $0,4$ kg·m^2
- **Surfaces aérodynamiques (S_a)** : $0,555$ m^2 (Grand-voile $0,342$ + Foc $0,213$)
- **Surface mouillée coque (S_m)** : $0,20$ m^2
- **Masse volumique air (ρ_{air})** : $1,225$ kg/m^3
- **Masse volumique eau (ρ_{eau})** : 1000 kg/m^3

3 Modélisation des Forces

3.1 Force Aérodynamique (Voilure)

La force totale résulte de l'interaction avec le vent apparent $\vec{V}_{app} = \vec{V}_{vent} - \vec{V}_{bateau}$. La portance ($L$) et la traînée ($D$) s'expriment par :

$$L = \frac{1}{2}\rho_{air} S_a \|\vec{V}_{app}\|^2 C_L(\alpha)$$

$$D = \frac{1}{2}\rho_{air} S_a \|\vec{V}_{app}\|^2 C_D(\alpha)$$

Où α est l'angle d'attaque. Nous utilisons les approximations suivantes pour les coefficients :

— $C_L(\alpha) = \sin(2\alpha)$
— $C_D(\alpha) = 1,0 - \cos(\alpha)$

3.2 Force Hydrodynamique (Coque et Quille)

La traînée de la coque s'oppose à la vitesse :

$$\vec{F}_{drag} = -\frac{1}{2}\rho_{eau} S_m C_f \|\vec{V}_{bateau}\| \vec{V}_{bateau}$$

Avec $C_f \approx 0,004$.

La quille génère une force anti-dérive proportionnelle à la vitesse latérale v_{lat} :

$$\vec{F}_{quille} = -K_{lat} \cdot v_{lat} \cdot \vec{n}_{lat}$$

4 Bilan Dynamique

4.1 Équilibre des translations (PFD)

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_{voile} + \vec{F}_{drag} + \vec{F}_{quille} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

4.2 Équilibre des rotations

Le moment total au centre de masse définit l'accélération angulaire $\ddot{\theta}$:

$$\sum M_z = I_z \cdot \ddot{\theta}$$

Les moments sont calculés selon les bras de levier des centres d'effort (CE) et de résistance latérale (CLR) par rapport au pivot.

5 Méthode de Résolution Numérique

Le simulateur utilise une intégration d'Euler semi-implicite avec un pas de temps dt :

1. $\vec{a}_t = \frac{1}{m} \sum \vec{F}_t$
2. $\vec{v}_{t+dt} = \vec{v}_t + \vec{a}_t \cdot dt$
3. $\vec{p}_{t+dt} = \vec{p}_t + \vec{v}_{t+dt} \cdot dt$