

Chargement et déchargement des cargos porte-conteneurs



L'étude porte sur une grue de chargement et déchargement de conteneurs des navires post-Panamax (figure ci-contre), capables d'embarquer jusqu'à 13 000 conteneurs.

Le transfert rapide de ces conteneurs nécessite de maîtriser le balancement de la charge au bout du câble, par un contrôle élaboré du mouvement du chariot.

Une étude dynamique (dont les hypothèses sont rappelées ci-dessous) a permis de déterminer les équations différentielles qui régissent le comportement du système afin de relier le déplacement $y_{ch}(t)$ du chariot au balancement $\theta(t)$ du conteneur.

Les douze câbles supportant le conteneur sont assimilés à un seul câble indéformable, en liaison pivot à ses extrémités. Le portique support du chariot est noté (0), le chariot (1), le câble (2) et l'ensemble { *spreader* + conteneur } (3) (voir figure ci-dessous).

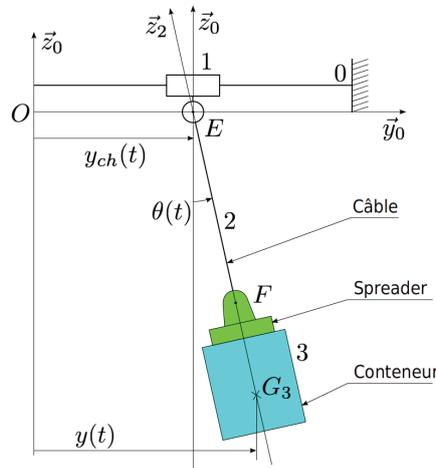


Figure 1: Modèle cinématique simplifié du mouvement du conteneur

- Le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au portique (0) est fixe et supposé galiléen avec \vec{z}_0 l'axe vertical ascendant.
- Le repère $R_1(E, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié au chariot (1) de masse $m_1 = 3$ tonnes, en liaison glissière de direction \vec{y}_0 . La position du chariot est telle que $\vec{OE} = y_{ch}(t) \vec{y}_0$.
- Le repère $R_2(E, \vec{x}_0, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ est lié au câble (2) de masse négligée et à l'ensemble (3) de masse $m_3 = 50$ tonnes, en liaison pivot avec (1) d'axe (E, \vec{x}_0) et d'angle $\theta(t) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$. La longueur EG_3 , liée au câble, est notée $L = 53$ m. Le centre d'inertie de l'ensemble (3) est G_3 . La matrice d'inertie du solide (3) s'écrit au point F :

$$[I(F,3)] = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_3, \vec{z}_3)} \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} A_3 &= 364 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^2 \\ B_3 &= 912 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^2 \\ C_3 &= 600 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

- Les liaisons sont considérées parfaites comme étant des liaisons avec frottement visqueux. Les coefficients sont f_g pour la liaison glissière et f_p pour la liaison pivot. On prendra $f_g = 500$ N/(m/s) et $f_p = 500$ N.m/(rad/s).

- La motorisation du mouvement de direction exerce des actions mécaniques sur (1) qui se réduisent à un glisseur de la forme $\vec{R}_{0 \rightarrow 1}^{M_D} = F_{mot} \vec{y}_0$. C'est cette motorisation qui permet le déplacement du conteneur.

On considère pour la suite que l'on a :

$$\begin{aligned} F_{mot} - f_g \dot{y}_{ch} &= (m_1 + m_3) \ddot{y}_{ch} + m_3 L \ddot{\theta} \cos \theta - m_3 L \dot{\theta}^2 \sin \theta \\ -m_3 L g \sin \theta - f_p \dot{\theta} &= (A_3 + m_3 L^2) \ddot{\theta} + m_3 L \ddot{y}_{ch} \cos \theta \end{aligned}$$

Mouvement du câble sans effort moteur :

Q1. Définir une fonction $F_{mot}(t)$ qui renvoie la valeur 0 (en Newton). On considèrera que cette fonction est une donnée du problème.

Q2. Déterminer la fonction H de telle sorte que $Y'(t) = H(Y(t), t)$ avec $Y = [y_{ch} \quad \dot{y}_{ch} \quad \theta \quad \dot{\theta}]$.

Q3. Mettre en place un schéma d'Euler pour observer le comportement du conteneur. On placera le conteneur dans la situation initiale suivante : $Y_0 = [0 \quad 0 \quad 0.1 \quad 0]$.

Q4. Tracer θ et y_{ch} en fonction du temps pour $n = 100000$. Que constatez-vous ? Comment l'expliquer physiquement ?

Q5. Étudier la "convergence" du schéma numérique pour différentes valeurs de n (on pourra faire les tracés de θ et y_{ch} pour $n \in [100, 1000, 10000, 100000]$).

Mouvement du câble sous effort moteur constant :

Q6. Définir une fonction $F_{mot}(t)$ qui renvoie la valeur 1000 N pour $t > 1$ s et 0 N si $t < 1$ s ($t = 1$ s est le "départ" de la simulation). On considèrera que cette fonction est une donnée du problème.

Q7. Observer le comportement du conteneur. Le résultat obtenu semble-t-il physique ?

On se place maintenant dans le cas où l'on cherche à accoster le conteneur. Celui-ci n'est donc pas encore fixé sur le câble. On pourra prendre les valeurs suivantes pour la simulation $A_3 = 0 \text{ kg.m}^2$ et $m_3 = 50 \text{ kg}$.

Q8. Tracer θ en fonction du temps. Expliquer pourquoi il sera compliqué de venir fixer le conteneur sur le câble (on pourra calculer le déplacement effectué par le conteneur pour une oscillation : $x_{cont} \approx L\theta$ avec $\theta \ll 1$).

Pilotage du moteur avec une loi simple :

On considère de nouveau le conteneur chargé.

Q9. Définir une fonction $F_{mot}(t)$ qui renvoie la valeur 2000 N pour $t < 30$ s puis 0 N si $30 \text{ s} < t < 70$ s puis -1000 N si $70 \text{ s} < t < 100$ s et 0 N le reste du temps.

Q10. Observer le comportement du conteneur. Combien de temps est nécessaire pour que le conteneur se déplace de 50 m. Expliquer comment il faudrait piloter le moteur pour avoir une meilleure efficacité.