

TD 5 : Aéroglisseur

Mise en situation

Un aéroglisseur (Hovercraft) est un véhicule amphibie sur coussin d'air destiné à se déplacer sur des surfaces relativement planes. C'est un type de véhicule peut courant mais ses caractéristiques en font un engin de prédilection pour l'évolution sur des terrains peu accessibles : Marécages, eaux très peu profondes ou gelées.

C'est la raison pour laquelle il a été adopté pour certaines applications militaires, ou comme engin de sauvetage (Par exemple dans la baie du Mont St Michel).

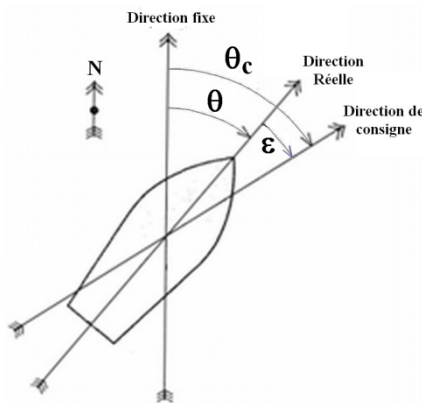


La motorisation du modèle étudié (Griffon Hoverwork 995E) est assurée par un moteur diesel qui fournit l'énergie électrique. Cependant, les manœuvres et la propulsion sont réalisées par 2 modules de poussée électriques et orientables. Ce qui confère à ce véhicule de grandes qualités de manœuvrabilité.

On s'intéresse dans cette étude au système de changement de cap automatique de l'aéroglisseur. Permettant un asservissement en cap de l'hovercraft.

Modélisation du procédé de commande de cap

Une centrale inertielle (Gyromètre et Magnétomètre) délivre l'information du cap sous la forme d'un nombre binaire codé sur 12 bits. Ce nombre : $n(t)$ (en incrément) est proportionnel à l'angle $\theta(t)$ que forme l'axe de l'aéroglisseur avec une direction fixe (Coefficient $K_{CI} = 11,3 \text{ inc.deg}^{-1} = 650 \text{ inc.rad}^{-1}$). Le cap à atteindre $\theta_c(t)$ (consigne) est donné par le pilote. Cette consigne de cap est transformée en nombre binaire $n_c(t)$. L'adaptateur étant un gain pur $K_A = 650 \text{ inc.rad}^{-1}$.



La comparaison des caps de consigne et réel : $\epsilon(t) = \theta_c(t) - \theta(t)$ est traitée par le correcteur de fonction de transfert $C(p)$, qui délivre une tension $u(t)$ au système de gestion des 2 modules de poussée.

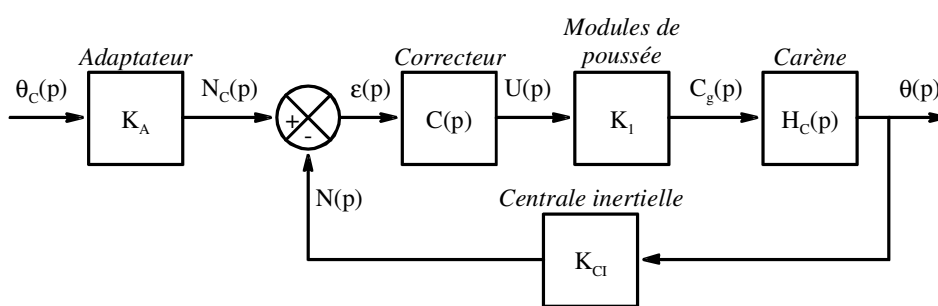
Ces modules de poussée fournissent un moment de giration $c_g(t)$ sur la carène de l'hovercraft conduisant à la modification du cap de cet aéroglisseur : $\theta(p)$.

Le comportement dynamique de la carène de l'aéroglisseur par rapport à son mouvement de giration est décrit par l'équation différentielle :

$$J \cdot \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} + f \cdot \frac{d \theta(t)}{dt} = c_g(t)$$

La dynamique du transfert entre $u(t)$ et $c_g(t)$ est suffisamment rapide devant celle de la carène pour admettre que la fonction de transfert des modules de poussée se réduit à un gain pur K_1 .

On adopte donc pour cet asservissement en cap le schéma bloc ci-dessous :



Donnée numériques :

Inertie de la carène :

$$J = 4,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^2$$

Frottement visqueux :

$$f = 180 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$$

Gain des modules de poussée

$$K_1 = 54 \text{ N.m.V}^{-1}.$$

Objectif de l'étude

On souhaite qu'un changement de cap en réponse à un échelon de se fasse avec un temps de réponse à 5% de $t_{5\%} \leq 12$ s et un dépassement de la valeur finale de $D\% \leq 10\%$. Le but de l'exercice est de déterminer les paramètres du correcteur permettant de répondre à ces critères du cahier des charges.

Travail demandé

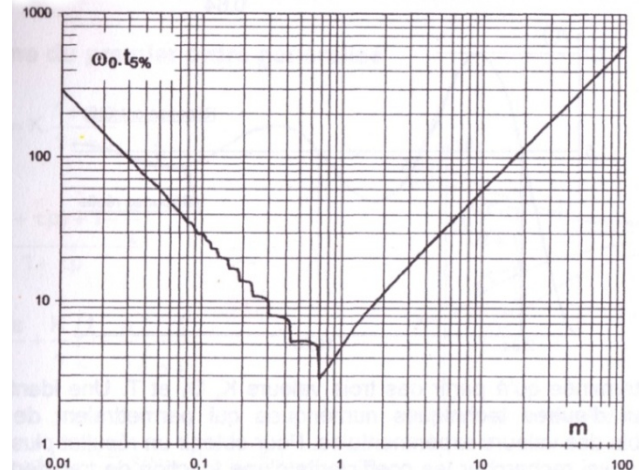
A- Correcteur proportionnel

1- On utilise dans un premier temps un correcteur proportionnel de gain K_P . Déterminer numériquement en fonction de K_P l'expression de la FTBO puis de la FTBF.

2- En déduire la valeur de K_P permettant le système le plus rapide. Puis en vous aidant de l'abaque ci-contre déterminer le temps de réponse minimal ainsi obtenu. Conclure.

3- Tracer sur la page 3 les diagrammes asymptotiques en gain et phase de la FTBO non corrigée. Tracer également l'allure des diagrammes réels.

Temps de réponse à 5 % d'un système du second ordre



4- Donner pour le système non corrigé ($C(p) = K_P = 1$) les expressions numériques de $G_{dBBOC}(\omega)$ le gain dynamique en décibel et de $\phi_{BOC}(\omega)$ la phase de la FTBO non corrigée. En déduire le gain et la phase pour une pulsation de : $\omega = 0,6 \text{ rad.s}^{-1}$.

B- Correcteur à avance de phase

Pour répondre au cahier des charges on décide d'utiliser un correcteur à avance de phase : de fonction de transfert : $C(p) = K \cdot \frac{1 + c \cdot T \cdot p}{1 + T \cdot p}$ Ce correcteur doit permettre d'avoir une marge de phase de $M_\phi = 70^\circ$. (Pour limiter le dépassement de la valeur finale) à la pulsation $\omega_{0dB} = 0,6 \text{ rad.s}^{-1}$ (Pour respecter le temps de réponse).

5- Calculer les valeurs numériques de $G_{dBCor}(\omega_{0dB})$ et $\phi_{Cor}(\omega_{0dB})$ le gain et la phase du correcteur à la pulsation $\omega_{0dB} = 0,6 \text{ rad.s}^{-1}$, qui permettront d'obtenir une marge de phase de : $M_\phi = 70^\circ$, à la pulsation $\omega_{0dB} = 0,6 \text{ rad.s}^{-1}$.

6- Le correcteur est choisi de telle sorte que sa phase maximale soit obtenue à la pulsation de coupure ω_{0dB} . En déduire les valeurs de c et T puis celle de K permettant d'obtenir la marge de phase de $M_\phi = 70^\circ$ à la pulsation $\omega_{0dB} = 0,6 \text{ rad.s}^{-1}$. Tracer sur la page 3 les diagrammes asymptotiques en gain et phase de la FTBO ainsi corrigée. Tracer également l'allure des diagrammes réels.

7- Une simulation numérique avec ce correcteur et un échelon de consigne de 10° donne la réponse temporelle de la figure 1 de la page 4. Conclure vis-à-vis des performances attendues.

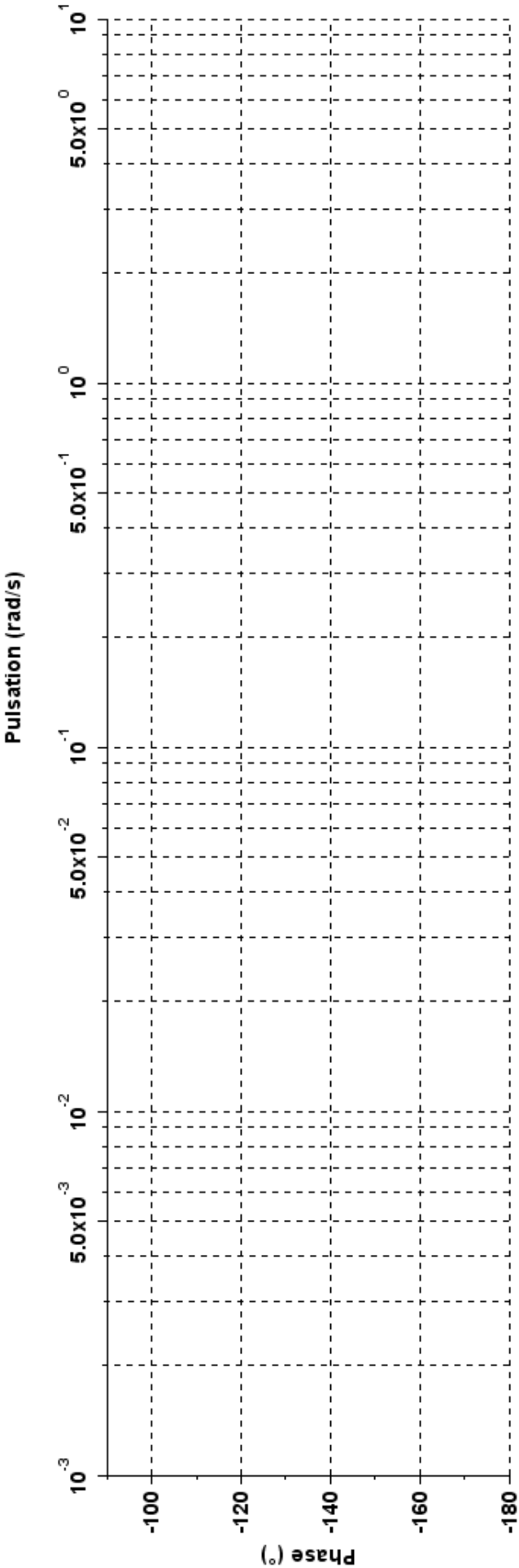
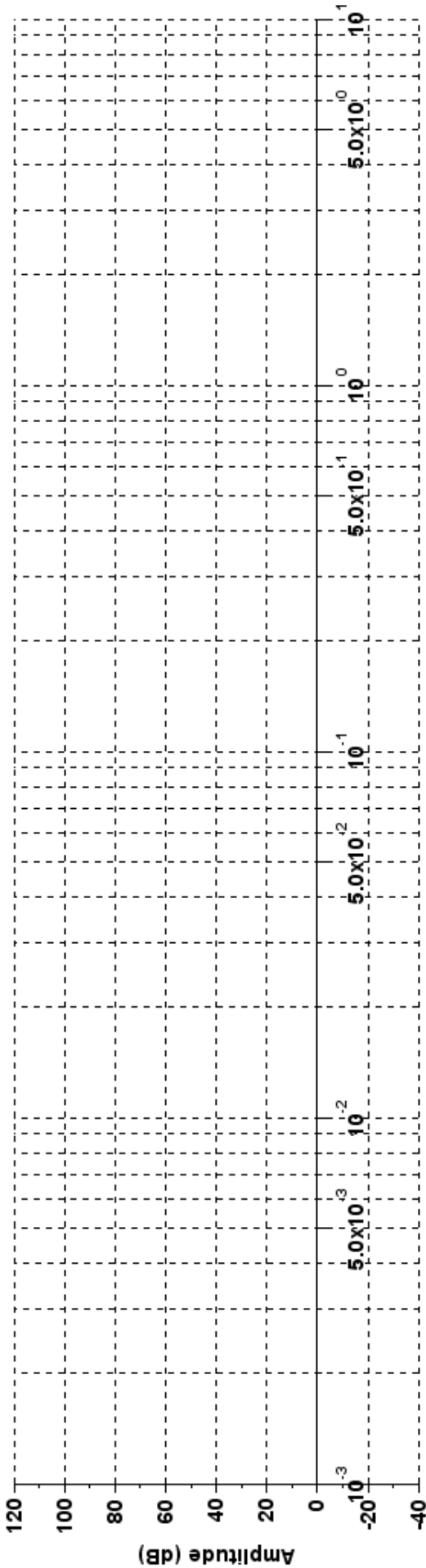
C- Réponse temporelle à un changement de cap important

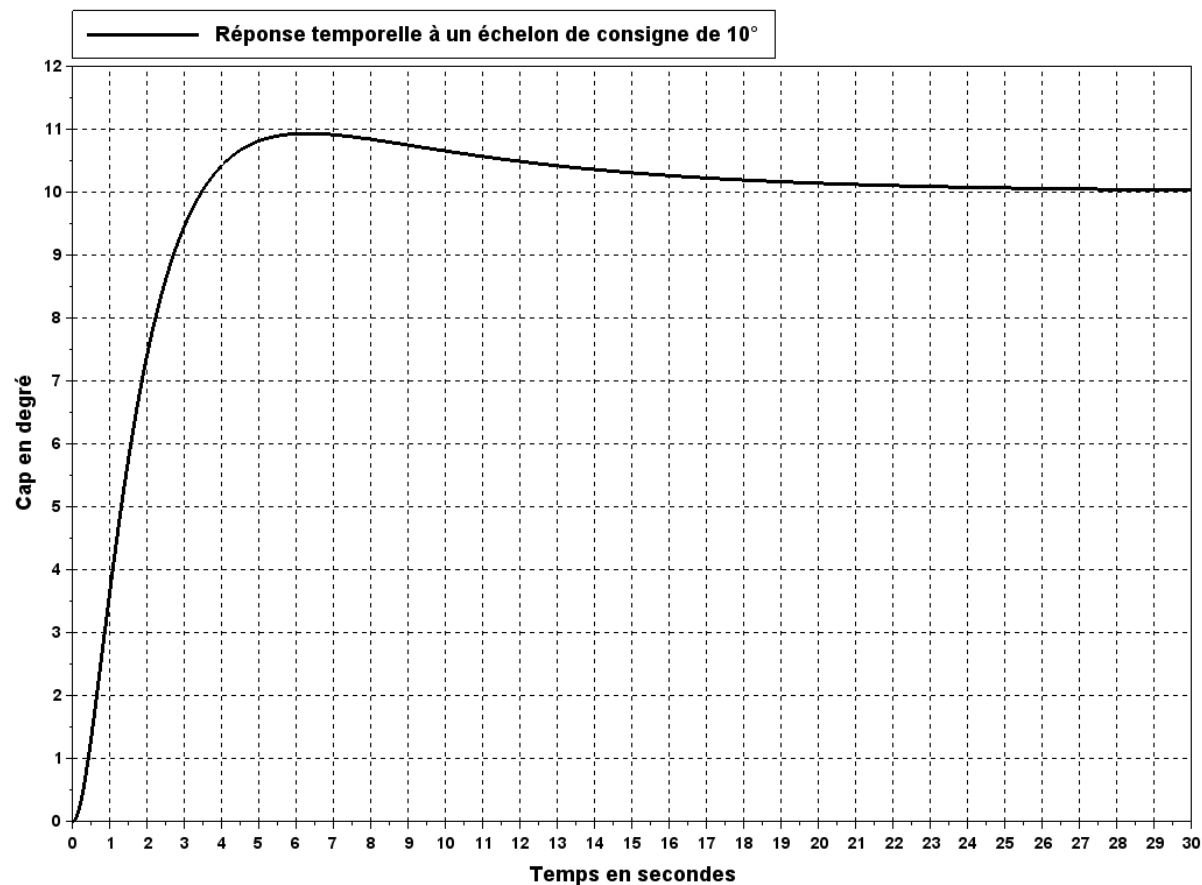
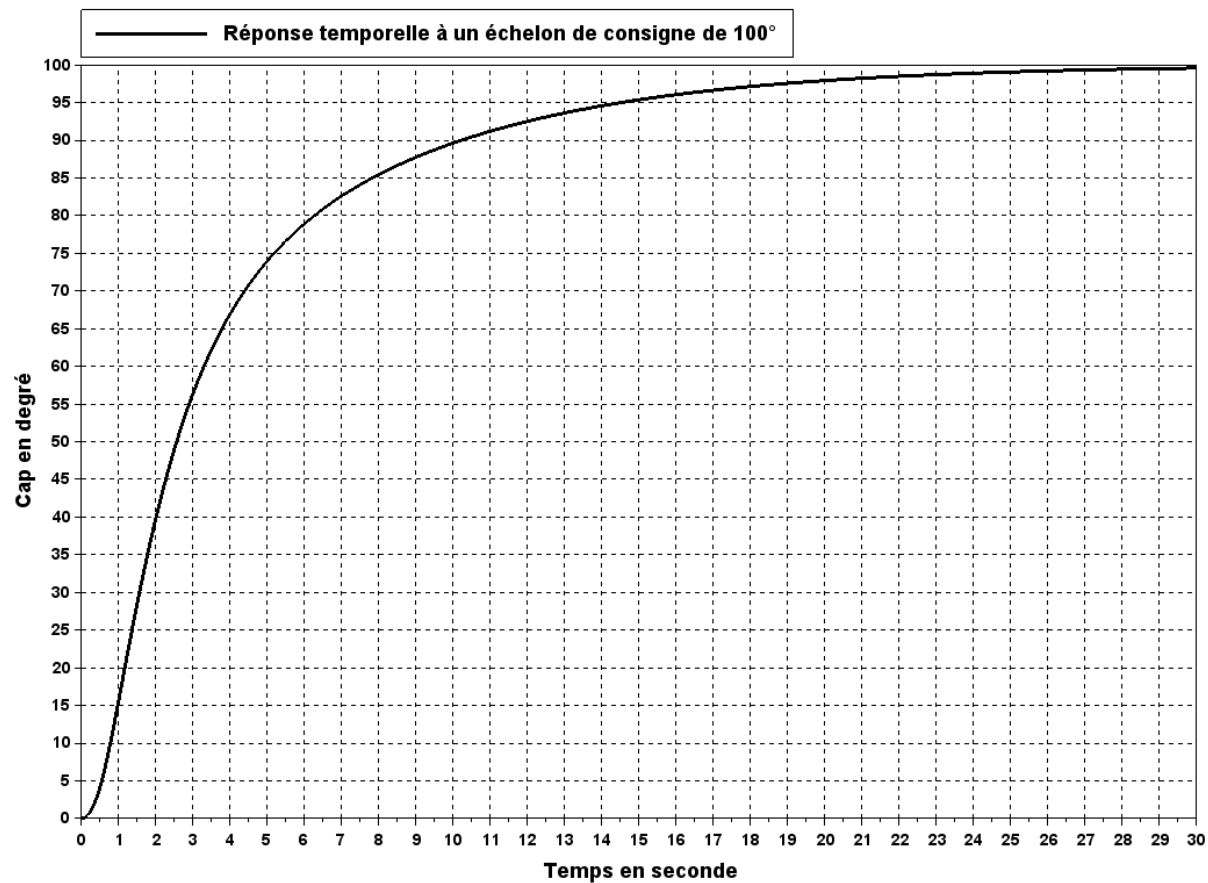
Les modules de poussée de l'hovercraft ont une poussée maximale de chacun 150 kgf (1 500 N). Par leur orientation cela permet de créer un moment de giration maximal de $C_{g,MAX}$ de $\pm 2\,700 \text{ N.m}$.

8- Comment peut-on introduire cette limite physique dans le schéma bloc de l'asservissement ?

9- Calculer avec le correcteur à avance de phase dimensionné à la question 5 la fonction de transfert $F(p) = \frac{C_g(p)}{\theta_C(p)}$. En déduire le moment de giration à la date $t = 0$ pour un échelon de consigne de Θ_0 .

10- Une simulation numérique avec ce correcteur et le bloc ajouté à la question 7, pour un échelon de consigne de 100° donne la réponse temporelle de la figure 2 de la page 4. Justifier la forme de cette courbe, et conclure vis-à-vis des performances attendues.



*Figure 1**Figure 2*