

Cycle 3

Analyser, Expérimenter et Modéliser de façon causale
les systèmes complexes pluri-technologiques

Dossier travaux pratiques

Consignes
générales



Organisation et restitution

Au cours du TP, les étudiants doivent réaliser leur partie mais aussi échanger avec le reste de l'équipe pour pouvoir s'appropriier tous les aspects du TP.

Compte rendu :

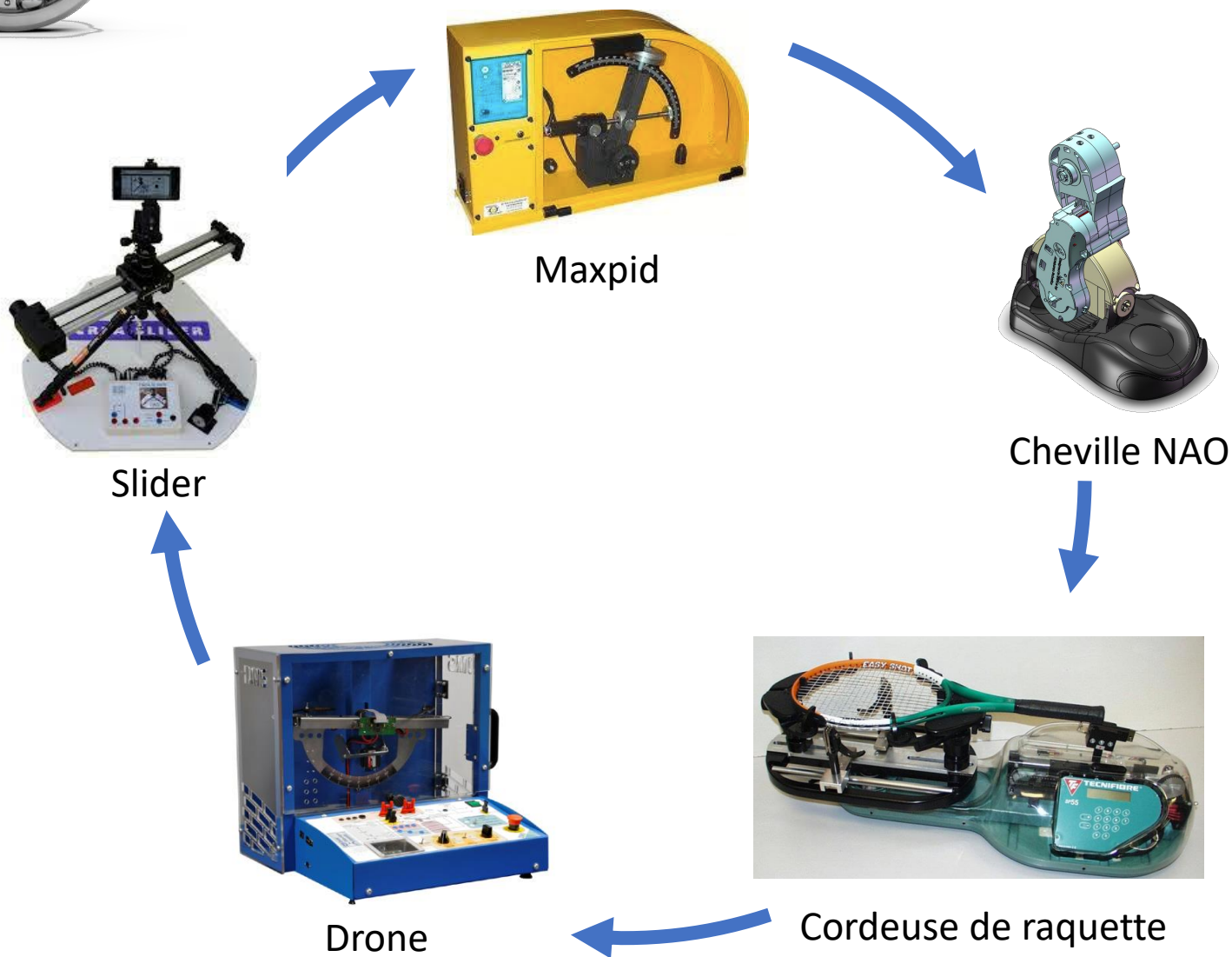
- A rendre avant la séance prochaine

Ressources :

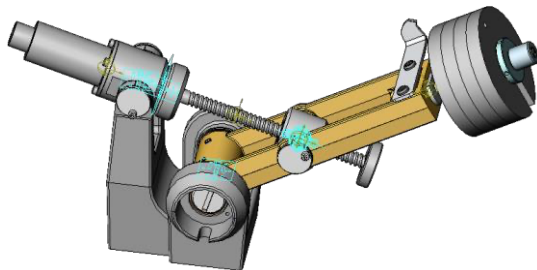
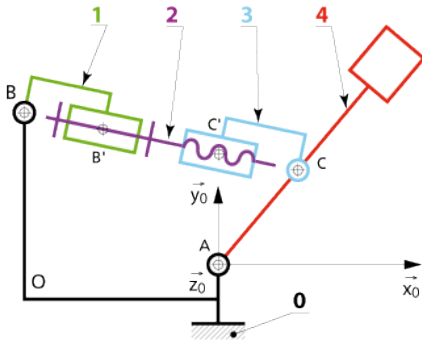
- Sujet TP
- Annexe et dossier ressource
- Vidéo présentant le support sur le PC (facultatif)



Roulement TP cycle 1



Objectif général des TP



Système
souhaité

Commanditaire
Analyste

Performances
attendues

Système
réel

Laboratoire
Expérimentateur

Performances
mesurées

Système
simulé

Simulation
Simulateur

Performances
simulées

Ecart

Ecart

Ecart

- Proposer une modélisation
- Prévoir et vérifier les performances
- Analyser les écarts entre le souhaité, le réel et le simulé

Cycle 3

Analyser, Expérimenter et Modéliser de façon causale
les systèmes complexes pluri-technologiques

Dossier travaux pratiques

Drone I2C
Cycle 3



Trame analytique

On se base sur le schéma bloc fonctionnel en annexe. On rappelle que pour réaliser un asservissement de qualité, il faut que la sortie du comparateur (soustracteur) soit nulle lorsque la grandeur physique du système est égale à la grandeur de consigne (en régime permanent dans le cas d'un système stable).

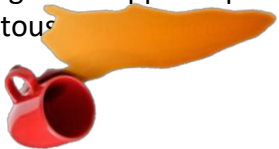
Question 1 : Après avoir exprimé l'écart $\varepsilon(p)$ en fonction des grandeurs d'entrée et de sortie du système, déterminer le lien entre K_a et K_b pour que l'angle de tangage α_t suive parfaitement l'angle de tangage de consigne α_{tc} en régime permanent.

Question 2 : Transformer l'équation de la modélisation du balancier (annexe) dans le domaine de Laplace, en considérant les conditions initiales nulles. En déduire la fonction de transfert $H_1(p)$.

Question 3 : Par une mesure avec une règle sur le système, déterminer la valeur numérique des gains K_{4G} et K_{4D} , supposés égaux, correspondants à la distance de « bras de levier » entre l'axe des moteurs et l'axe de rotation du drone en tangage.

Question 4 : Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $\frac{\alpha_t(p)}{\alpha_{tc}(p)}$ et l'écrire sous la forme canonique d'un second ordre lorsque $C(p) = K_{cor}$. Identifier les paramètres caractéristiques du second ordre (K, z, ω_0).

Question 5 : Montrer par calculs qu'un simple correcteur proportionnel $C(p) = K_{cor}$ ne permettra pas de stabiliser le drone sur l'axe de tangage. On rappelle qu'un système est stable si les racines du polynôme du dénominateur (appelés les pôles) de la fonction de transfert sont toutes à l'origine.



Le correcteur utilisé pour ce TP est du type Proportionnel-Dérivé et est donc modélisé par une fonction de transfert $C(p) = K_{cor} \cdot \frac{T_d p}{1 + N T_d p}$ avec $T_d = 0,01$ s et $N = 10$.



**Maintenant que le modèle de connaissance est fini,
transmettre vos résultats au pole simulation**

Question 6 : Comparer l'ordre de la fonction de transfert et les performances théoriques entre votre modèle de connaissance et le comportement expérimental (pour une même valeur de K_{cor} en vous et le pole simulation).

Trame expérimentale

En mode **Manu** et en boucle fermée, la consigne angulaire (angle de tangage de consigne α_{tc} est fournie par le potentiomètre **Commande tangage**, et la vitesse de rotation des moteurs (image de la commande des gaz) est fournie par le potentiomètre **Commande Moteurs**. L'image de la position angulaire du drone autour de l'axe de tangage α_t est fournie par un potentiomètre angulaire.

Sur un drone classique, le potentiomètre angulaire n'est pas présent, mais la position angulaire est élaborée à partir des capteurs accéléromètres et gyroscopes placés sur le drone.

Question 1 : Situer sur le drone les deux actionneurs de type moteur brushless. En vous documentant, expliquer la différence entre un moteur courant continu et un moteur brushless. Expliciter alors l'intérêt d'un moteur brushless pour un drone (vous avez le droit d'aller sur internet évidemment).

Question 2 : A l'aide des annexes sur la modélisation d'une pale, et à l'aide du logiciel de mesure du drone (voir dossier ressource page 29), mettre en œuvre un protocole permettant de déterminer expérimentalement la valeur des gains K_{3G} et K_{3D} (on suppose que ceux-ci sont égaux entre eux), pour une valeur de $\omega_0 = 3500 \text{ tr/min}$ (correspondant à 30% de gaz). Il est conseillé d'étudier la portance générée par un moteur uniquement.



**Maintenant que le modèle de connaissance est fini,
transmettre vos résultats au pole simulation**

Question 3 : A l'aide du logiciel de pilotage du drone, mettre en œuvre un protocole permettant de relever l'évolution temporelle de l'angle de tangage α_t pour une entrée du type créneau d'amplitude 10° et de période 4 s. Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab en s'intéressant à calculer et commenter les écarts éventuels

Trame simulation

L'objectif de cette partie est de compléter le schéma bloc fonctionnel présent en annexe. Certains paramètres seront issus de modèle de comportement (à la suite d'un résultat expérimental), d'autres seront issus de modèle de connaissance (modèle physique pour représenter le phénomène). Dans ce qui suit, nous allons établir un modèle de chaque composant identifié dans le schéma-blocs. L'hypothèse de pré-actionneurs, moteurs et pales, gauches et droites identiques, est faite et est supposée réaliste. Les préactionneurs (ESC) sont supposés être modélisables par des gains tels que $K_{1D} = K_{1G} = 10$

Question 1 : En utilisant les informations du « DOSSIER RESSOURCES » et du « DOSSIER TECHNIQUE », déterminer la valeur numérique du gain K_6 exprimé en $V/^\circ$.

On rappelle que les 2 actionneurs sont supposés identiques. Les actionneurs du type moteur *brushless* (voir « **DOSSIER TECHNIQUE** ») sont des actionneurs dont le temps de réponse à 5% est extrêmement court (inférieur à 5 ms). On se propose alors de les modéliser sous la forme d'un simple gain.

Question 2 : Déterminer la valeur numérique des gains K_{2G} et K_{2D} .

Question 3 : Compléter le fichier Xcos en utilisant les résultats obtenus dans les parties précédentes. Réaliser une simulation pour une entrée de 10° . Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab en s'intéressant à calculer et commenter les écarts éventuels



Comparer les résultats obtenus et hypothèses posées avec les autres pôles et identifier les écarts

Nous allons étudier l'influence du correcteur proportionnel sur la rapidité du système ainsi que sa stabilité, afin de trouver un réglage optimal pour vérifier les performances du cahier des charges. Nous allons réutiliser le modèle précédent avec uniquement un correcteur proportionnel $C(p) = K_{cor}$ et étudier son influence sur les performances du système.

Question 4 : Déterminer par simulation, l'influence de la valeur de K_{cor} sur la performance de rapidité, dépassement, précision de l'asservissement de l'angle de tangage. Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

Dossier travaux pratiques

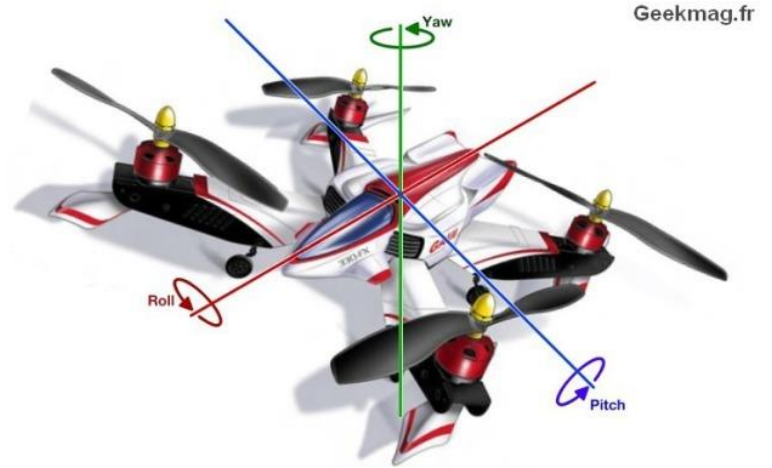
Drone I2C



Présentation

Pour pouvoir réaliser un vol en translation, un drone doit pouvoir être placé dans une position inclinée par rapport à l'horizontale.

C'est l'étude du passage à cette position inclinée et du maintien de cette position inclinée qui est étudié grâce au système Drone D2C. Le problème étudié ici n'est donc pas le problème de la stabilisation verticale (altitude) mais le problème de la stabilisation angulaire (« tangage » ou « pitch ») obtenue grâce à la mise en place de boucles d'asservissement (vitesse et position) et l'utilisation de correcteurs dans le micro-contrôleur.



La maquette Drone Didactique Contrôlé (D2C) met en œuvre les technologies qui constituent les drones. Il permet de tester les solutions technologiques de commande d'un système asservi dont les exigences en termes de performances sont élevées.

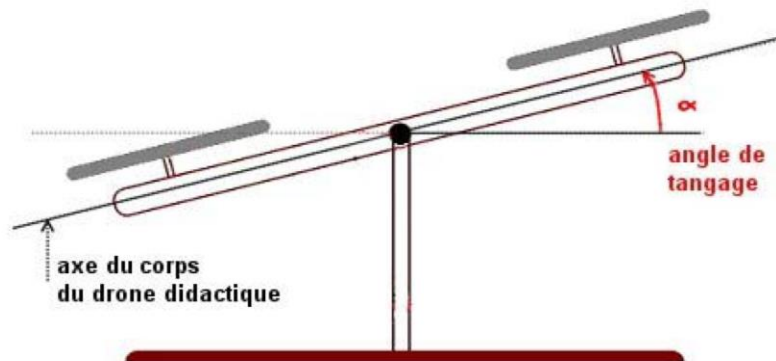
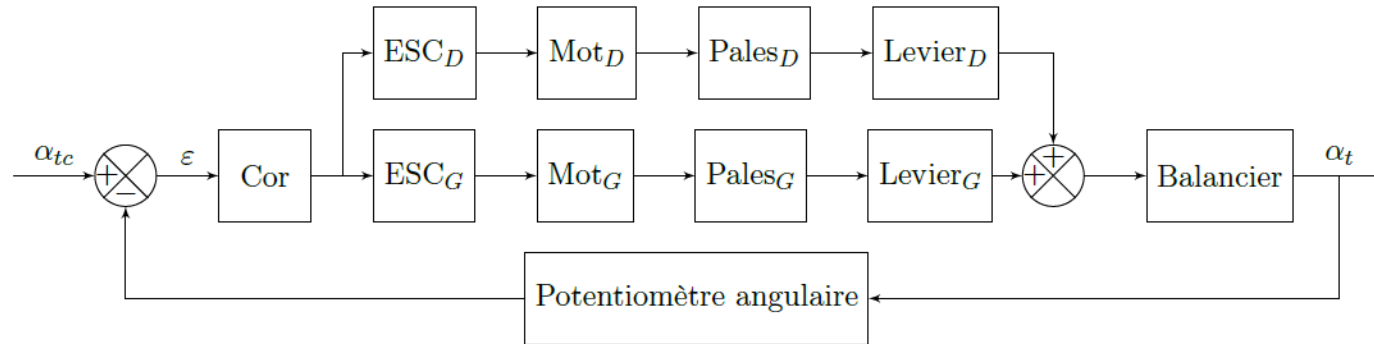


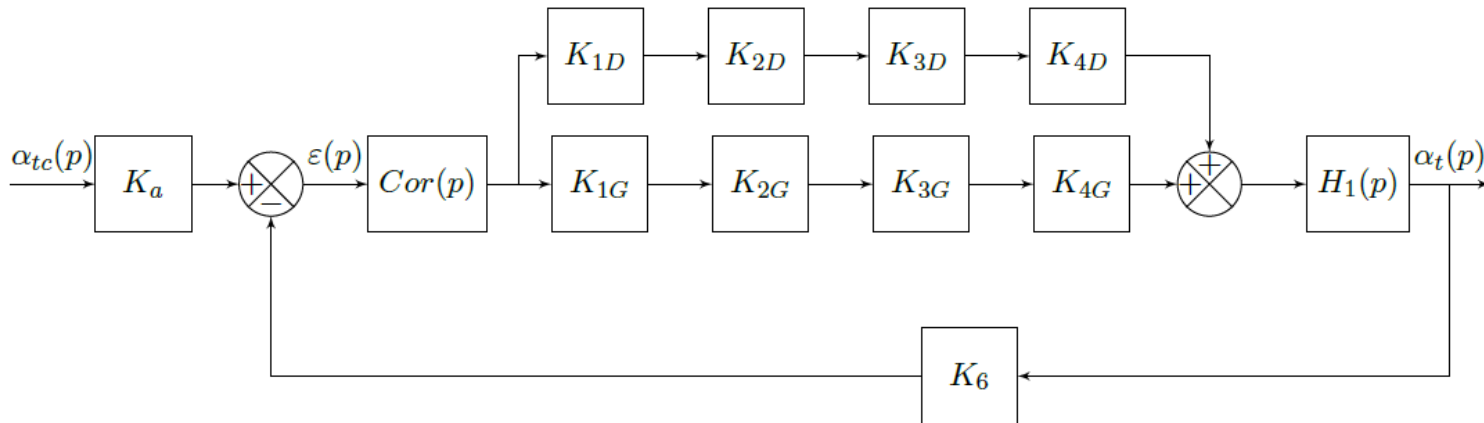
Illustration de l'angle de tangage sur la maquette didactisée du Drone D²C

Schéma bloc fonctionnel

La structure de commande des 2 actionneurs permettant de contrôler l'angle de tangage α_t est décrite par le schéma-blocs ci-dessous :



En mode **Manu** et en boucle fermée, la consigne angulaire (angle de tangage de consigne α_{tc} est fournie par le potentiomètre **Commande tangage**, et la vitesse de rotation des moteurs (image de la commande des gaz) est fournie par le potentiomètre **Commande Moteurs**. L'image de la position angulaire du drone autour de l'axe de tangage α_t est fournie par un potentiomètre angulaire.



Modélisation pale drone

Les pales, entraînées en rotation par l'arbre des moteurs *brushless*, génèrent des efforts, appelés efforts de portance.

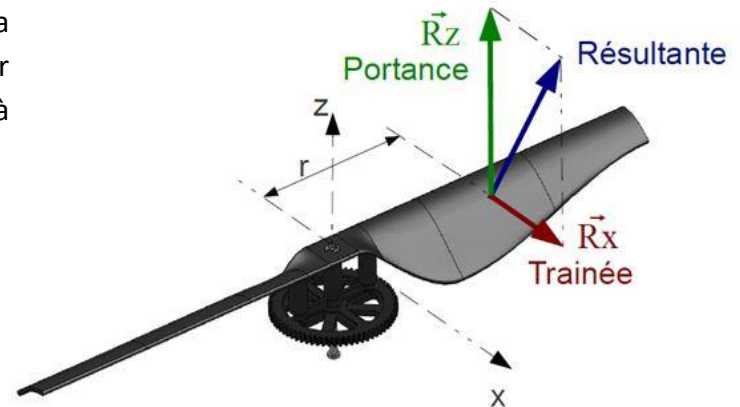
L'effort de portance est modélisable par l'équation $F_{portance} = k \cdot \omega_{mot}^2$. Ce modèle de connaissance n'est pas utilisable, car non linéaire. Cependant, autour d'un point de fonctionnement défini par $(\omega_0, F_{portance0})$, on peut considérer de petites variations $\Delta\omega$ (telles que $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \ll 1$) autour de ce point de fonctionnement provoquant de petites variations d'effort de portance $\Delta F_{portance}$ telles que :

$$\Delta F_{portance} = K_3 \cdot \Delta\omega \quad \text{avec } K_3 = \frac{\Delta F_{portance}}{\Delta\omega}$$

On parle alors de modèle linéarisé autour du point de fonctionnement $(\omega_0, F_{portance0})$ ou de modèle linéaire tangent.

Ce coefficient de proportionnalité entre l'effort de portance et la vitesse de rotation de l'hélice n'est pas aisément calculable à partir des caractéristiques des pales. Il est alors nécessaire de procéder à des essais expérimentaux.

Pour la suite, le point de fonctionnement est défini pour une vitesse de rotation des pales de 3500 tr/min (consigne des gaz proche de 40%)



Modélisation balancier

L'équation issue de la seconde loi de Newton (PFD) traduisant le comportement sur lequel sont fixés les 2 actionneurs est :

$$J_{eq} \cdot \frac{d^2 \alpha_t(t)}{dt^2} = L \cdot F_{PG}(t) + L \cdot F_{PD}(t)$$

Avec :

- $J_{eq} = 0,01 \text{ kg.m}^2$: Moment d'inertie équivalent du balancier et des actionneurs autour de l'axe de tangage du drone.
- $\alpha_t(t)$: Angle de tangage du drone.
- L : Distance entre l'axe de tangage et l'arbre des actionneurs (et des pales).
- $F_{PG}(t)$ et $F_{PD}(t)$: Efforts de portance générés (respectivement) par les pales gauche et droite.