



# AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES SLCI

## DRONE MINIATURE À VOILURE TOURNANTE

### 1 Présentation

L'apparition des premiers drones, véhicules volants sans pilote humain à bord, date de la fin de la seconde guerre mondiale. Tout d'abord principalement utilisés comme cibles militaires pour l'entraînement au combat, ensuite employés pour des missions de reconnaissance dans les années 1960, leur utilisation pour des missions de surveillance s'est ensuite répandue lors de nombreux conflits. Depuis, de nombreux drones ont été développés.

Les applications sont multiples : localisation de victimes lors de catastrophes naturelles, supervision du trafic routier, prises de vues de bâtiments ou d'ouvrages d'art pour la maintenance, inspection de lignes électriques ou de voies ferrées... Le drone est alors principalement utilisé dans sa fonction d'œil déporté, grâce à son vol stationnaire dans des missions difficiles d'accès pour l'homme.

L'objet de cette étude est la modélisation, l'analyse et la commande du drone miniature *Munin* développé par la *Safran*, à rotor caréné à pas fixe et quatre gouvernes dans une application de surveillance de bâtiment (FIGURE 1). Le drone considéré est équipé d'un rotor principal à pas fixe assurant la sustentation. Des gouvernes sont disposées dans le flux d'air afin de réaliser la commande d'orientation.

FIGURE 1 – Drone *Munin*

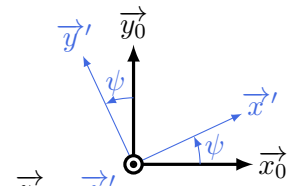
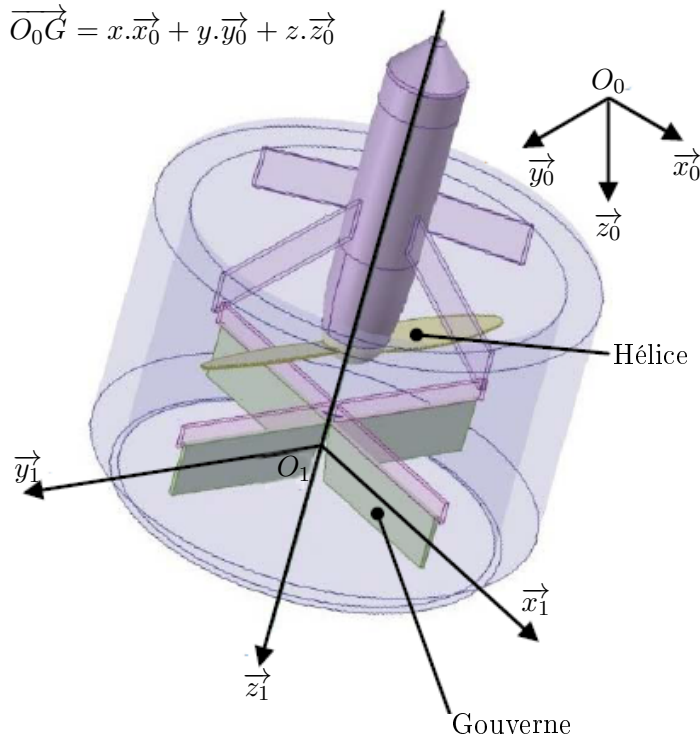
### 2 Paramétrage et modélisation

Le paramétrage du drone est donné sur la FIGURE 2 page suivante.

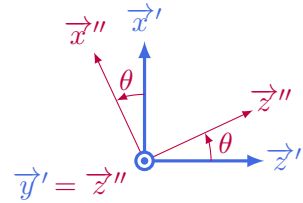
### 3 Étude des exigences 1.3 et 1.4 : avancement longitudinal 2D

Dans cette partie, on s'intéresse au vol d'avancement du véhicule en configuration de vol quasi-stationnaire. Un extrait du cahier des charges est fourni FIGURE 3.

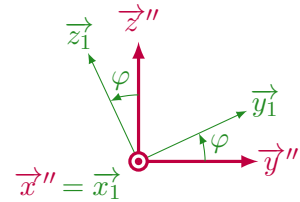
$$\vec{O_0G} = x.\vec{x}_0 + y.\vec{y}_0 + z.\vec{z}_0$$



Angle de lacet



Angle de tangage



Angle de roulis

FIGURE 2 – Paramétrage du drone

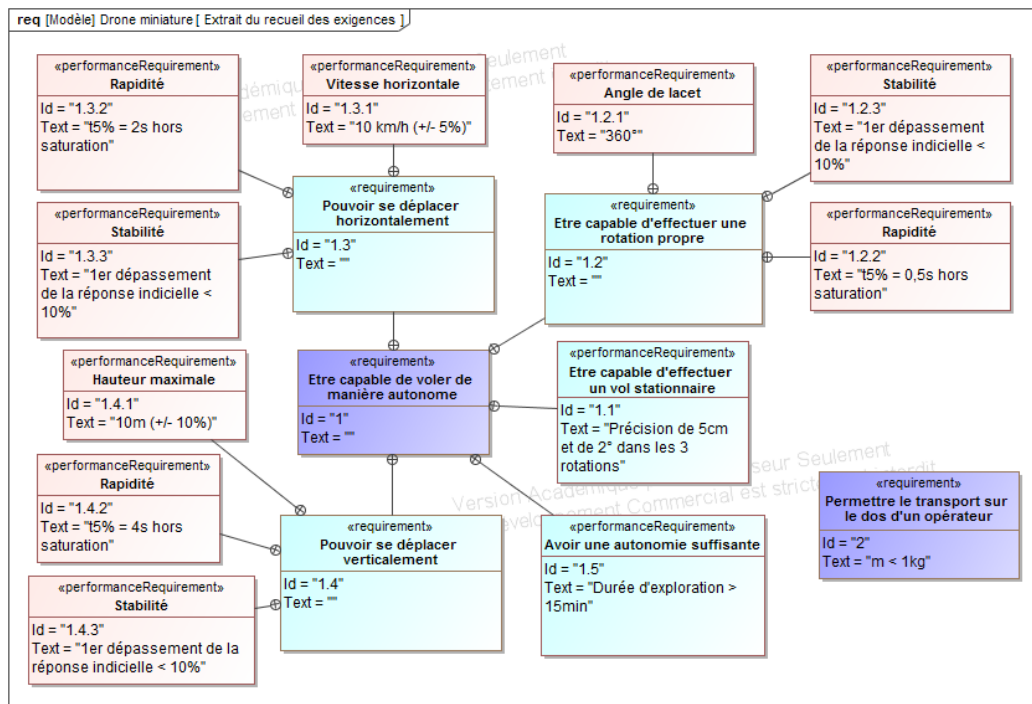


FIGURE 3 – Extrait du recueil des exigences

---

**Objectif**


---

Mettre en œuvre des structures d'asservissement dans ce cadre de contrôle d'attitude.

---

## 4 Détermination des correcteurs des boucles d'asservissement

L'objectif de cette partie est la mise en œuvre de structures d'asservissement pour chacun des deux sous-systèmes indépendants obtenus.

### 4.1 Schéma-blocs des asservissements

Les deux asservissements considérés (asservissement respectivement de la composante  $v_x$  et  $v_z$  de  $\overrightarrow{V_{G \in d/0}}$ ) sont représentés sur les figures 4 et 5. Pour l'asservissement en tangage, le moment  $\tilde{M}$  sera la grandeur de commande, pour l'asservissement en altitude, on considèrera la poussée  $\tilde{F}_P$  comme grandeur de commande.  $p$  représente la variable de Laplace.

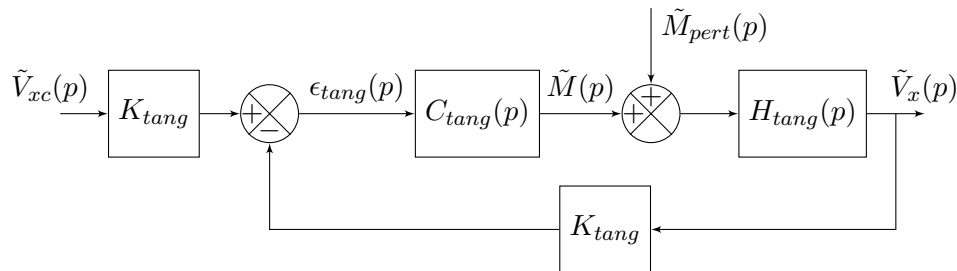


FIGURE 4 – Schéma-blocs de l'asservissement en tangage

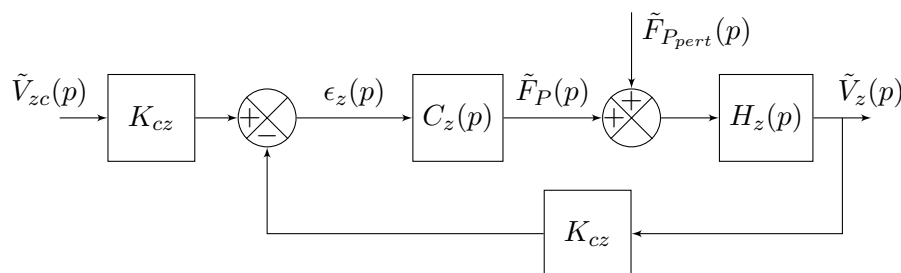


FIGURE 5 – Schéma-blocs de l'asservissement en altitude

Tous les signaux figurant dans ces schémas-blocs font référence à de petites variations autour du point de fonctionnement caractérisant le vol quasi-stationnaire étudié.

### Notations

- $\tilde{v}_{zc}$ , composante de la vitesse de consigne sur  $\vec{z}_0$  de  $G$  en m/s ;
- $\tilde{v}_z$ , composante de la vitesse sur  $\vec{z}_0$  de  $G$  en m/s ;
- $\tilde{v}_{xc}$ , composante de la vitesse de consigne sur  $\vec{x}_0$  de  $G$  en m/s ;
- $\tilde{v}_x$ , composante de la vitesse sur  $\vec{x}_0$  de  $G$  en m/s ;
- $\epsilon_z$ , l'écart d'altitude en V ;

- $\epsilon_{tang}$ , l'écart de tangage en V ;
- $\tilde{F}_P$ , l'effort de poussée généré par l'hélice en N ;
- $\tilde{F}_{P_{pert}}$ , l'effort de poussée perturbateur en N ;
- $\tilde{M}$ , moment induit par les gouvernes en N.m ;
- $\tilde{M}_{pert}$ , moment perturbateur en N.m.

Les blocs  $K_{tang}$  et  $K_{cz}$  représentent respectivement les gains des capteurs de vitesse  $v_x$  et  $v_z$  de  $G$ . On prendra  $K_{tang} = K_{cz} = 1 \text{ V.s/m}$ .

## 4.2 Étude de l'asservissement en altitude

Le schéma-blocs global de l'asservissement en altitude, caractérisé ici par l'asservissement de la vitesse  $\tilde{v}_z$  sur une consigne  $\tilde{v}_{zc}$ , est représenté FIGURE 5. On cherche à déterminer un correcteur proportionnel  $C_z(p) = K_{alt}$  permettant de satisfaire les spécifications de l'exigence 1.3. On prendra pour la suite  $H_z(p) = \frac{5}{1 + 5p}$ .

**Question 1** En supposant  $\tilde{F}_{P_{pert}}(p) = 0$ , déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{\tilde{V}_z(p)}{\tilde{V}_{zc}(p)}$ . Écrire cette fonction de transfert sous forme canonique en précisant les constantes caractéristiques. En déduire la valeur de  $K_{alt}$  satisfaisant le critère de rapidité de l'exigence 1.4.

**Question 2** En supposant  $\tilde{F}_{P_{pert}}(p) = 0$ , et pour la valeur de  $K_{alt}$  déterminée précédemment, calculer la sortie en régime permanent  $\tilde{v}_{z\infty}$  pour une consigne  $\tilde{v}_{zc}$  en échelon d'amplitude  $\tilde{v}_{z0}$ . En tenant compte des résultats précédents, représenter graphiquement l'allure de l'évolution temporelle de la sortie  $\tilde{v}_z(t)$  en réponse à la consigne considérée. On fera apparaître les constantes caractéristiques mises en évidence.

On corrige désormais cette structure bouclée par un correcteur de type Proportionnel Intégral (P.I.) :

$$C_z(p) = K_{alt} \left( 1 + \frac{0,2}{p} \right)$$

**Question 3** Préciser l'intérêt de cette structure de correction pour la boucle d'asservissement en altitude. Déterminer la valeur de  $K_{alt}$  permettant de satisfaire le critère de rapidité de l'exigence 1.4.

## 4.3 Étude de l'asservissement en tangage

Le schéma-blocs global de l'asservissement en tangage, caractérisé ici par l'asservissement de la vitesse  $\tilde{v}_x$  sur une consigne  $\tilde{v}_{xc}$ , est représenté FIGURE 4. On prendra pour la suite :

$$H_{tang}(p) = \frac{4500 - 5p^2}{p^2(1 + 0,1p)}$$

**Question 4** Pour  $\tilde{M}_{pert}(p) = 0$ , la réponse fréquentielle du gain et de la phase dans le plan de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte pour  $C_{tang}(p) = 1$  a été reportée sur la FIGURE 6. Analyser la stabilité du système asservi avec  $C_{tang}(p) = 1$  en donnant les marges de phase et de gain.

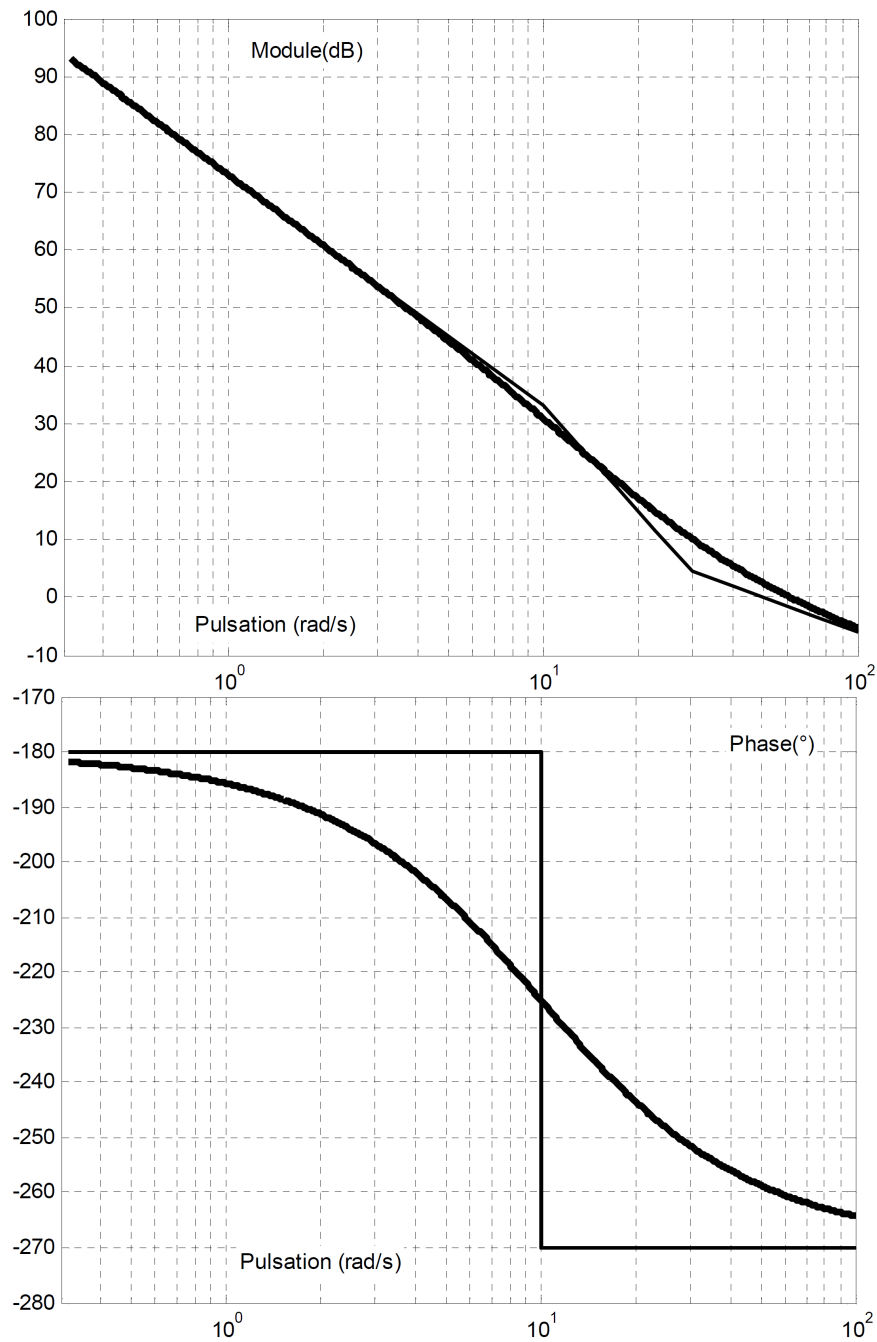


FIGURE 6 – Diagramme de Bode de la boucle ouverte non corrigée

Dans le but de satisfaire les spécifications de l'exigence 1.3, on souhaite corriger la structure bouclée précédente par un correcteur par avance de phase de fonction de transfert :

$$C_{tang}(p) = K \frac{1 + Tp}{1 + aTp} \text{ avec } a < 1$$

Les caractéristiques fréquentielles de ce type de correcteur sont données sur la FIGURE 7.

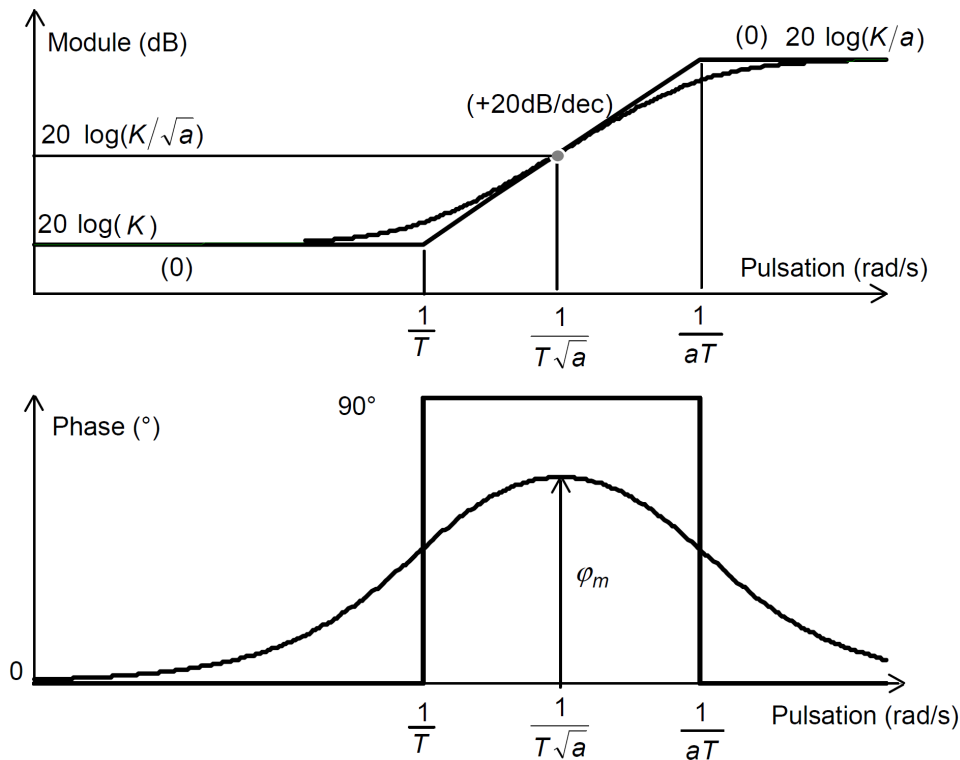


FIGURE 7 – Diagramme de Bode d'un correcteur à avance de phase

Le paramètre  $a$  de ce correcteur est relié à la valeur  $\varphi_m$ , correspondant au maximum de phase apportée, par la relation  $a = \frac{1 - \sin \varphi_m}{1 + \sin \varphi_m}$ .

On rappelle par ailleurs que :  $\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}}$  et  $G_{db}(\omega_m) = 20 \log \frac{K}{\sqrt{a}}$  (cf cours).

**Question 5** En supposant toujours  $\tilde{M}_{pert}(p) = 0$ , déterminer les trois paramètres de ce correcteur afin d'obtenir une marge de phase de  $60^\circ$  et une pulsation de coupure à 0 dB en boucle ouverte  $\omega_c = 2 \text{ rad/s}$  devant ainsi garantir les critères de rapidité et de stabilité de l'exigence 1.3.

**Question 6** Pour un couple  $\tilde{M}_{pert}(p)$  en échelon d'amplitude  $\tilde{M}_{pert0}$ , et à consigne  $\tilde{v}_{xc}(t) = 0$ , calculer l'écart en régime permanent  $\epsilon_{tang\infty}$  pour le correcteur déterminé à la question 5.