

ASSERVISSEMENT D'UN DRONE QUADRIROTOR PAR CORRECTEUR PROPORTIONNEL, INTEGRAL ET DERIVE

CONTROL OF A QUADROTOR DRONE BY CORRECTOR PROPORTIONAL, INTEGRAL AND DERIVATIVE



| Ando Nirina Andriamanalina * | Andry Auguste Randriamitantsoa | et | Paul Auguste Randriamitantsoa |

Université d'Antananarivo | Ecole Doctorale en Science et Technique de l'Ingénierie et de l'Innovation (ED – STII) | Laboratoire de Recherche en Télécommunication, Automatique, Signal et Images (TASI) | BP 1500 Antananarivo 101 | Madagascar |

| Received February 12, 2022 |

| Accepted February 26, 2022 |

| Published February 28, 2022 |

| ID Article | Andriamanalina-Ref05-ajira200222 |

RESUME

Contexte : Pour un drone, le comportement ainsi que la trajectoire suivie doivent respecter fidèlement les commandes de l'utilisateur. Ainsi, la stabilité, la rapidité et la précision sont nécessaires. **Objectifs :** Concevoir un système qui permet de corriger le comportement du drone afin de suivre les trajectoires désirées malgré les perturbations extérieures. **Méthodes :** Implémentation d'un correcteur de type Proportionnel, intégral et Dérivé (PID) dont les coefficients varient suivant le niveau d'erreur. **Résultats :** Avec un temps de réponse acceptable, la consigne est respectée pour tout type de trajectoire. **Conclusion :** Associé à un drone, un correcteur PID fournit des résultats performants.

Mots-clés: erreur, précision, translation, rotation.

ABSTRACT

Context: For a drone, the behavior as well as the trajectory must follow faithfully respect user's commands. Then, stability, speed and precision are necessary. **Objectives:** The goal is to have a controller that can correct the behavior of the drone in order to follow the desired trajectories despite external disturbances. **Methods:** Implementation of a Proportional, Integral and Derivative (PID) controller whose coefficients vary according to the level of error. **Results:** With an acceptable response time, input is respected for any type of trajectory. **Conclusion:** Associated with a drone, a PID controller provides powerful results.

Keywords: error, precision, translation, rotation.

1. INTRODUCTION

Un drone quadrirotor est un aéronef à voilure tournante comportant quatre rotors pour sa sustentation. Le fonctionnement d'un drone se relate à travers cinq mouvements possibles à savoir, vertical, le lacet, le roulis, le tangage et la translation qui sont obtenus à partir de la variation de trois angles d'Euler à savoir ψ , θ et φ . Le drone est ainsi capable de réaliser des mouvements de translation et de rotation [1]. Pour que ces mouvements soient précis, il est nécessaire de corriger le fonctionnement du drone à travers un mécanisme d'asservissement. Parmi les correcteurs, le correcteur Proportionnel Intégral et Dérivé (PID) fournit des performances élevées.

2. MATERIELS ET METHODES

Dans ce travail, afin de corriger le comportement du drone suivant les trajectoires désirées, le recours à la notion d'asservissement via un correcteur PID est utilisé. A, partir des modèles mathématiques des mouvements de translation et de rotation du drone, une simulation sous Simulink de Matlab est réalisé afin de récupérer le ou les correcteurs nécessaires. Pour illustrer la performance du correcteur, des mouvements de translation et de rotation sont réalisés.

2.1 Principe de l'asservissement

Un asservissement a pour but d'assurer le fonctionnement d'un procédé selon des critères prédéfinis par un cahier des charges. Le principe repose sur un système dont on reboucle la sortie vers l'entrée pour mesurer l'erreur à compenser.

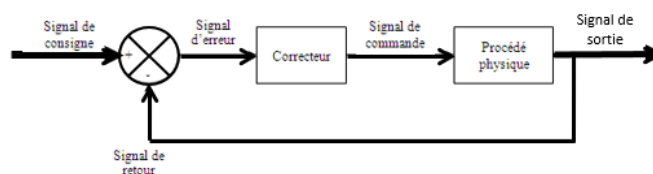


Figure 1 : Structure d'un asservissement.

Le correcteur introduit dans la chaîne directe sert à corriger le comportement du système [02].

2.2 Correcteur PID

C'est un correcteur qui fait apparaître une ou plusieurs des trois formes élémentaires de correction à savoir, l'action proportionnelle P, l'action intégrale I ou l'action dérivée D.

*Corresponding author Author & Copyright Author © 2022: | Ando Nirina Andriamanalina * |. All Rights Reserved. All articles published in American Journal of Innovative Research and Applied Sciences are the property of Atlantic Center Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

2.2.1 Concept du correcteur PID

Pour un correcteur proportionnel le signal de commande $c(t)$ à la sortie, est défini par [3]:

$$c(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) \quad (01)$$

Pour un correcteur intégral le signal de commande à la sortie, est défini par :

$$c(t) = K_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (02)$$

Pour un correcteur dérivé, le signal de commande à la sortie, est défini par :

$$c(t) = K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (03)$$

Lorsque ces trois correcteurs sont associés, le correcteur PID est représenté par :

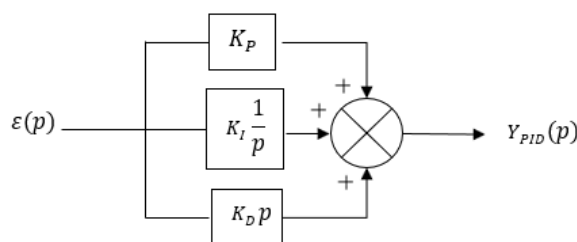


Figure 2 : Asservissement PID.

$$c_{PID}(t) = K_p + K_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (04)$$

2.2.2 Choix du correcteur standard

Le correcteur proportionnel P est souvent utilisé pour améliorer la précision d'un système. La combinaison du correcteur P et du correcteur D ou correcteur PD améliore quant à lui la rapidité ou la stabilité d'un système. Le correcteur PI augmente la classe du système et donc améliore la précision. La combinaison des trois correcteurs ou correcteur PID améliore en même temps la précision, stabilité et la rapidité.

2.3 Modèle mathématique du drone quadrirotor

Basé suivant le modèle de Newton-Euler, durant le déplacement du drone, plusieurs forces et moments interagissent et permettent d'obtenir les équations des mouvements de translation et de rotation.

2.3.1 Equation des mouvements de translation

Les équations de mouvement de translation suivant les axes OX, OY et OZ sont exprimées par [04] :

$$\ddot{x} = \frac{[\sin(\psi) \sin(\varphi) + \cos(\psi) \sin(\theta) \cos(\varphi)] F}{m} \quad (05)$$

$$\ddot{y} = \frac{[\sin(\psi) \sin(\theta) \cos(\varphi) - \cos(\psi) \sin(\varphi)] F}{m} \quad (06)$$

$$\ddot{z} = -g + \frac{\cos(\varphi) \cos(\theta) F}{m} \quad (07)$$

Où g , m et F représentent, la pesanteur, la masse du drone et la poussée totale fournit par les quatre moteurs.

2.3.2 Equation des mouvements de rotation

L'accélération suivant les angles de rotation est exprimée par [04] :

$$\begin{pmatrix} \ddot{\psi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{lb(\omega_4^2 - \omega_2^2)}{I_X} \\ \frac{lb(\omega_3^2 - \omega_1^2)}{I_Y} \\ \frac{d(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2)}{I_Z} \end{bmatrix} \quad (08)$$

Où, l , b , d , ω_i , I_X , I_Y et I_Z représentent respectivement la distance de séparation des moteurs par rapport au centre gravité du drone, le coefficient de portance, le coefficient de drag, la vitesse de rotation du $i^{\text{ème}}$ moteur, l'inertie par rapport à OX, OY puis OZ.

2.4 Asservissement par PID d'un drone

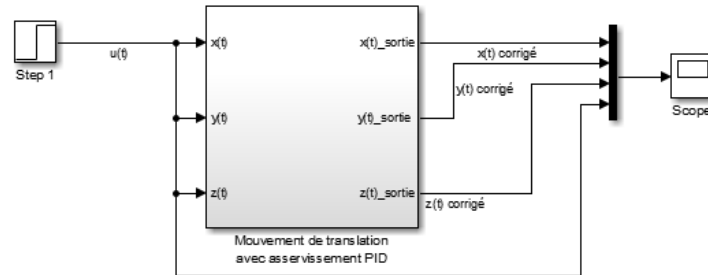
Asservir le quadrirotor consiste à corriger les sorties notamment, les mouvements de translation x , y et z ; ainsi que les mouvements de rotations ψ , θ et ϕ en fonction des consignes d'entrées. Durant la simulation, les paramètres du drone utilisés sont décrits par le **Tableau 1** suivant.

Tableau 1 : Tableau montre les paramètres du drone.

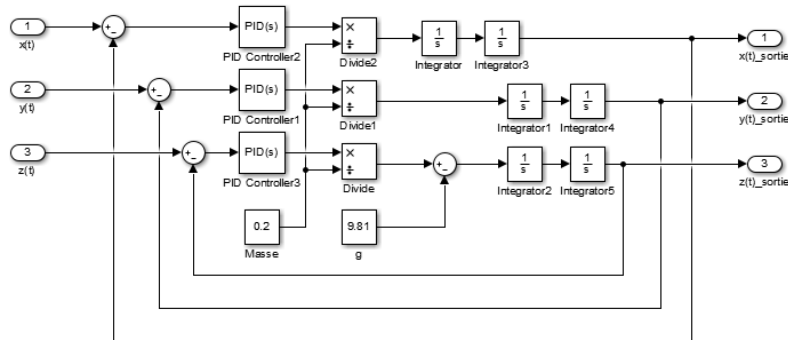
I_x	I_y	I_z	l	b	d	m	g
0,025	0,025	0,03	0,25	0,0000019	0,000001,84	0,25	9,81

2.4.1 Modèle Simulink du mouvement de translation du quadrirotor avec correcteur PID

Le modèle Simulink avec correcteur PID du mouvement de translation du drone est représenté par la **Figure 3** suivante.

**Figure 3 :** Translation avec correcteur Proportionnel Intégral et Dérivé (PID).

Le bloc qui compose le modèle Simulink et qui contient les correcteurs PID est représenté par la **Figure 4** suivante.

**Figure 4 :** Module PID pour la translation.

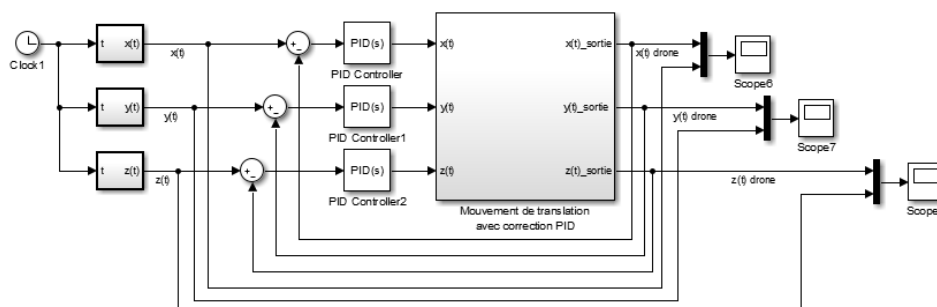
Les coefficients des correcteurs utilisés durant l'asservissement de translation sont exprimés par le **Tableau 2** suivant :

Tableau 2 : Paramètres PID du module de translation.

	P	I	D
PID 1	24	24	2
PID 2	24	24	2
PID 3	24	24	2

PID : Proportionnel Intégral et Dérivé.

Lorsque les trajectoires désirées suivantes x , y et z sont personnalisés, le modèle Simulink du drone munit des correcteurs est représenté par la **Figure 5** suivante.

**Figure 5 :** Consignes personnalisées du mouvement de translation.

Durant la simulation des mouvements de translation, les trajectoires suivantes x , y et z désirées sont définies par :

$$z(t) = \sin(2\pi 0,2t) \quad (09)$$

$$y(t) = 11 + 5t + 3t^2 \quad (10)$$

$$x(t) = 1 + 2,5t \quad (11)$$

2.4.2 Modèle Simulink du mouvement de rotation du quadrirotor avec correcteur PID

Le modèle Simulink des mouvements de rotation associé avec correcteur PID est représenté par la **figure 6** suivante.

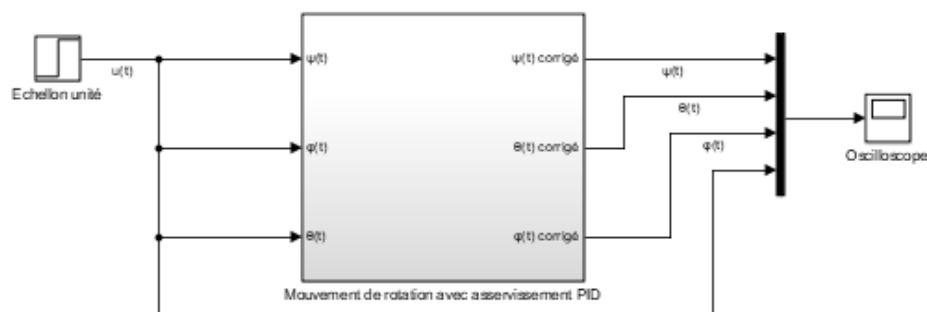


Figure 6 : Rotation avec correcteur Proportionnel Intégral et Dérivé (PID).

Le bloc qui compose le modèle Simulink contenant les correcteurs PID qui corrigent les mouvements de rotation, est représenté par la **figure 7** suivante.

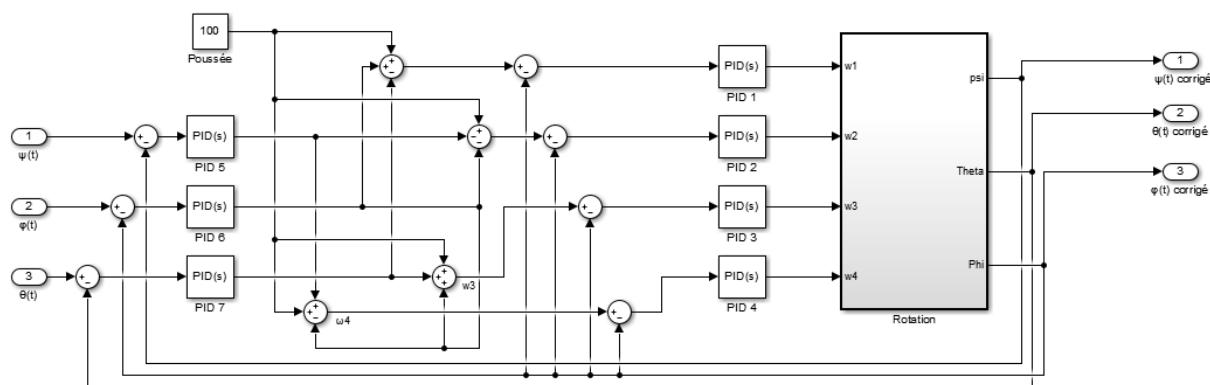


Figure 7 : Module PID pour la rotation.

Les valeurs des paramètres PID utilisés au cours de la simulation de rotation sont exprimées par le **tableau 3**.

Tableau 3 : Paramètres PID pour la rotation.

	Coefficient P	Coefficient I	Coefficient D
Correcteur PID 1	24	24	2
Correcteur PID 2	24	24	2
Correcteur PID 3	24	24	2
Correcteur PID 4	24	24	2
Correcteur PID 5	3	0,1	0,0001
Correcteur PID 6	3	0,1	0,0001
Correcteur PID 7	1	0,2	0,0001

PID : Proportionnel Intégral et Dérivé.

Lorsque les valeurs des angles ψ , θ et φ sont personnalisés, le modèle Simulink du drone munit d'un correcteur est représenté par la **Figure 8** suivante :

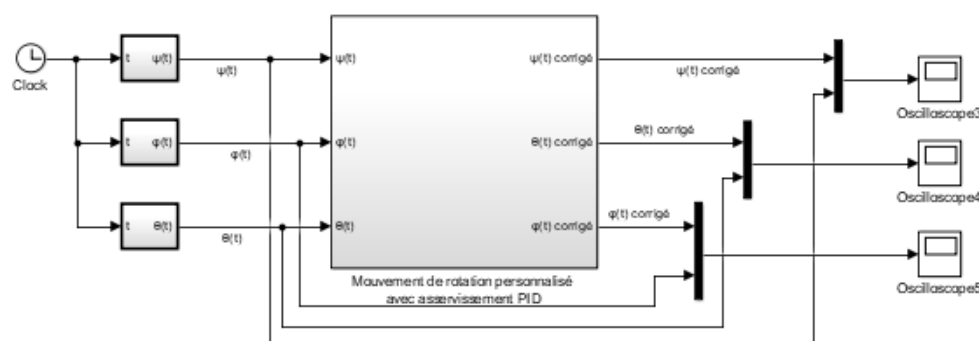


Figure 8 : Modèle Simulink du mouvement de translation du quadrirotor.

Les valeurs des angles d'Euler ψ , θ et φ sont définies par :

$$\theta(t) = \sin(2\pi 0,2t) \quad (12)$$

$$\psi(t) = 11 + 5t + 3t^2 \quad (13)$$

$$\varphi(t) = 1 + 2,5t \quad (14)$$

3. RESULTATS

3.1 Réponse des mouvements de translation du quadrirotor avec correcteur PID

Avec correction PID, lorsque le drone effectue un mouvement de translation suivant l'axe des x , y et z , les réponses indicielles du drone sont illustrées par la **figure 9** suivante.

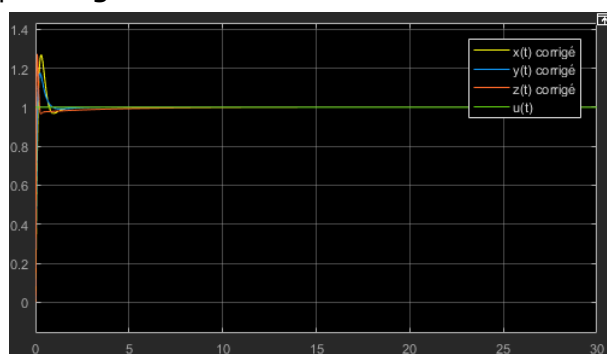


Figure 9 : Réponse suivant $u(t)$ via PID.

Associé à un PID, pendant un mouvement de translation suivant l'axe des x , y et z ; les réponses du drone si la consigne est un signal rampe sont illustrées par la **figure 10** suivante :

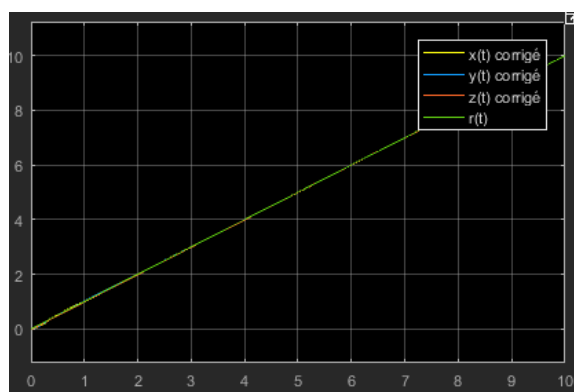


Figure 10 : Réponse suivant $r(t)$.

Pour les entrées personnalisées, les sorties suivants x , y et z sont décrites par les **figure 11**, **figure 12** et **figure 13**.

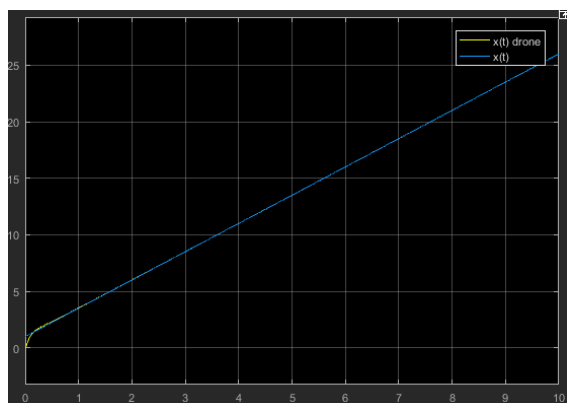


Figure 11 : Réponse personnalisée suivant x .

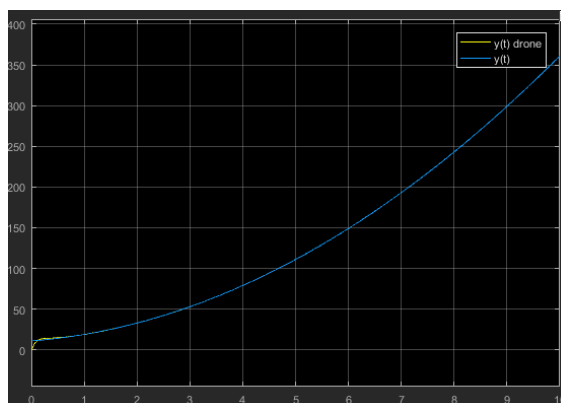


Figure 12 : Réponse personnalisée suivant y .

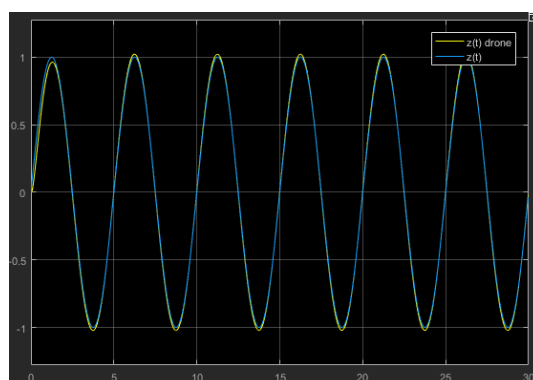


Figure 13 : Réponse personnalisée suivant z .

3.2 Réponse des mouvements de rotation du quadrirotor avec correcteur PID

Avec PID, lorsque le drone effectue des mouvements de rotation, de roulis et de tangage les réponses indicielles du drone sont illustrées par la **figure 14** suivante.

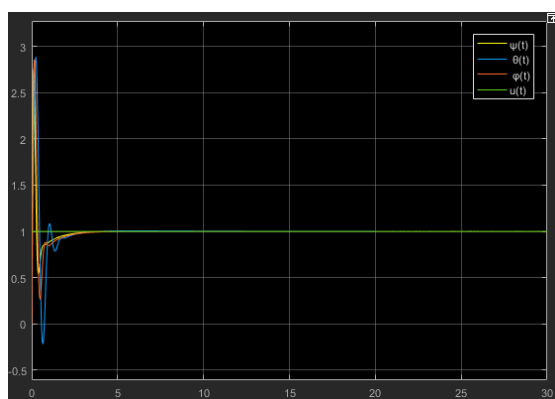


Figure 14 : Réponses suivant $u(t)$ via PID.

Au cours d'un mouvement de rotation de lacet, de roulis et de tangage suivant l'axe des ψ , θ et φ , la réponse du drone lorsque la consigne est un signal rampe est illustrée par la **figure 15** suivante :

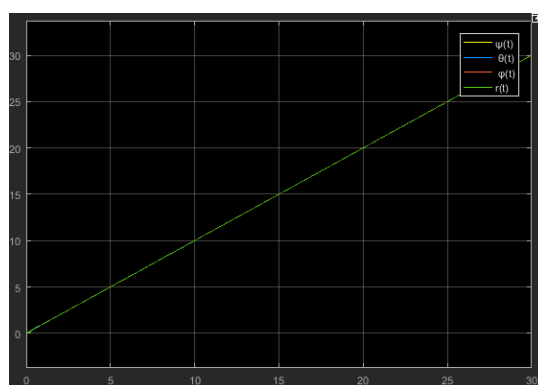


Figure 15 : Réponse suivant $r(t)$ via PID.

Pour les entrées personnalisées, les sorties décrites par les **figure 16**, **figure 17** et **figure 18**.

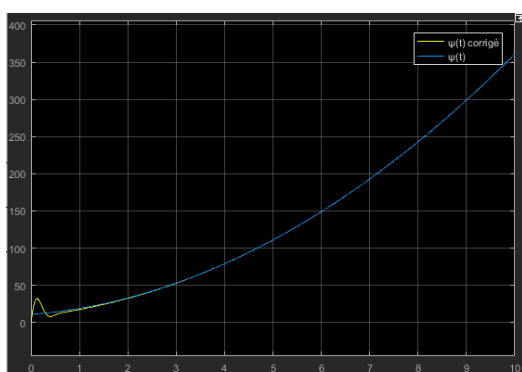


Figure 16 : Réponse suivant $\psi(t)$ via PID.

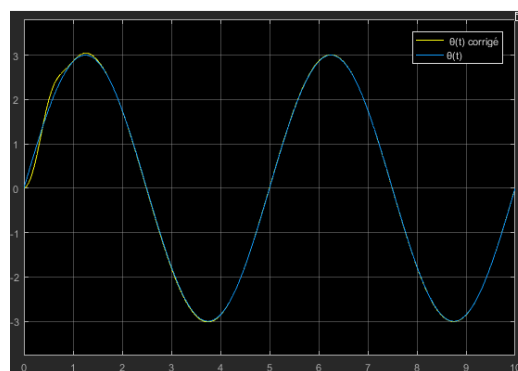


Figure 17 : Réponse suivant $\theta(t)$ via PID.

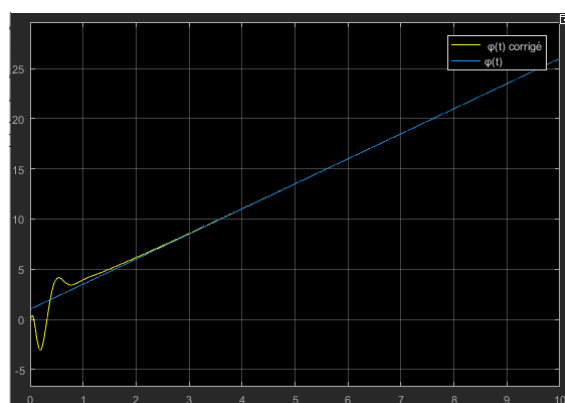


Figure 18 : Réponse suivant $\varphi(t)$ via PID.

4. DISCUSSION

On observe que les mouvements de rotation et de translations sont parfaitement corrigés par le correcteur Proportionnel Intégral et Dérivé (PID) puisque les consignes sont respectées. On observe également qu'un dépassement apparaît uniquement durant l'asservissement de position. Que ce soit pour l'asservissement de translation ou de rotation, le système est rapide puisque le temps de réponse du système est faible, au plus, à une seconde. Concernant l'asservissement de translation, d'après le **tableau 2**, puisque les correcteurs Proportionnel et intégral sont les plus sollicités alors la correction a été réalisée à travers l'augmentation de la classe du système via l'ajout d'un intégrateur.

L'asservissement de rotation a nécessité deux blocs de correction en cascade. Dans le premier étage notamment, les correcteurs PID 5, PID 6 et PID 7 ont permis de stabiliser la réponse du drone et de le rendre plus rapide. Dans le deuxième étage, les autres correcteurs ont amélioré la précision du drone. En effet, le **tableau 3**, montre que, à travers les valeurs des correcteurs PID 5, PID 6 et PID 7 le correcteur Dérivé est le plus sollicité. Pour les correcteurs PID 1, PID 2, PID 3 et PID 4, les correcteurs Proportionnel et intégral sont plus sollicités. Ainsi, ils permettent d'améliorer la précision des manœuvres de rotation. Dans les études précédentes [4,5], la correction des mouvements de rotation est réalisée à travers un étage de correction. Dans notre cas, la correction a requis deux étages dont le deuxième correspond à l'amélioration de la précision.

5. CONCLUSION

La principale difficulté de l'asservissement du drone réside dans le choix des valeurs des coefficients des correcteurs. Avec les paramètres idéaux, le correcteur Proportionnel Intégral et Dérivé est un correcteur performant. L'asservissement de rotation du quadrirotor est réalisé à travers deux blocs de correcteur en cascade. Au premier étage, via un correcteur essentiellement à base de Correcteur Proportionnel et Intégrale puis au deuxième des correcteurs Dérivés. L'asservissement des mouvements de translation a nécessité des correcteurs Proportionnel et intégral.

6. REFERENCES

1. Xiaodong Z., Xiaoli L., Kang W., and Yanjun L. A Survey of Modelling and Identification of Quadrotor Robot. *Hindawi*. 2014; Available on: <https://doi.org/10.1155/2014/320526>
2. Young L. C. and Zhi R. C. A PID Positioning Controller with a Curve Fitting Model Based on RFID Technology. *Journal of Applied Research and Technology*; 2013; 11(2): 301-310 - Available on: [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(13\)71540-2](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(13)71540-2)
3. Daraz A, Malik SA, Haq IU, Khan KB, Laghari GF, et al. (2020) Modified PID controller for automatic generation control of multi-source interconnected power system using fitness dependent optimizer algorithm. *PLOS ONE*. 15(11): e0242428. Available on: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242428>.
4. Zoran B., Petar P. and Denis K. Mathematical Modelling Of Unmanned Aerial Vehicles With Four Rotors. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 2016; 88-110 – Available on: <http://dx.doi.org/10.7906/indecs.14.1.9>
5. Bachtiar M.M., Ardilla F., Hasbi M.F., Wibowo I.K. PID Control System on Brushless DC Motor for Quadcopter Balance, *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, Vol.6 No.2 July 2021, Available on : <https://ejournal.unitomo.ac.id/index.php/inform/article/view/3999/1981>
6. Eatemadi M. Mathematical Dynamics, Kinematics Modeling and PID Equation Controller of QuadCopter, *International Journal of Applied Operational Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 77-85, Winter 2017, Available on : <https://ijorlu.liu.ac.ir/article-1-503-en.pdf>



Cite this article: Ando Nirina Andriamanalina, Andry Auguste Randriamitantsoa, et Paul Auguste Randriamitantsoa. ASSERVISSEMENT D'UN DRONE QUADRIROTOR PAR CORRECTEUR PROPORTIONNEL, INTEGRAL ET DERIVE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(2):94-100.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>