



DOSSIER PEDAGOGIQUE

1 PRESENTATION DE LA NACELLE.	1
1.1 DRONE DE PRISE DE VUE AERIENNE	1
1.2 NACELLE DE DRONE	1
2 PROBLEMATIQUE.	1
3 ORGANISATION PRATIQUE.	1
4 ACTIVITE N°2 : DEFINIR LA FTBO DU SYSTEME (TEMPORELLE).	2
5 ACTIVITE N°3 :DEFINIR LA FTBO DU SYSTEME (FREQUENTIELLE).	3
6 ACTIVITE N°4 :PRECISION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE.	4
7 ACTIVITE N°5 :PRECISION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE (ECHELON SUPERIEUR A 25°).	5
8 ACTIVITE N°6 :REPETITIONS DES POSITIONS D'EQUILIBRE.	6
9 CONCLUSION GENERALE	6



DOSSIER PÉDAGOGIQUE

Comparaison du fonctionnement
d'un moteur CC et d'un moteur
Brushless

Sujet

CPGE

1 PRÉSENTATION DE LA NACELLE.

1.1 Drone de prise de vue aérienne

La prise de vue aérienne par drone est un secteur en plein essor. Beaucoup de télépilotes se lancent sur ce segment avec un cadrage basé sur nacelle 2 ou 3 axes. Cette technique permet de réaliser des images intéressantes, avec des manœuvres sur des vues en oblique ou en courbe, qui sont très recherchées par les films publicitaires par exemple, car le rendu est excellent.



1.2 Nacelle de drone

De façon à obtenir des images de qualité, la nacelle doit permettre à l'appareil de prise de vue de rester dans la direction prévue par l'utilisateur, quel que soit le mouvement du drone qui le porte. Pour cela le concepteur a prévu d'asservir les deux axes de tangage et de roulis de la nacelle.

Le support d'étude dans cette activité est la nacelle de Drone asservie dans un environnement recréé.



2 PROBLÉMATIQUE.

Les moteurs Brushless sont des moteurs synchrones avec un fonctionnement très différent de celui des moteurs à courant continu présents dans de nombreux systèmes du laboratoire.

L'objectif est d'appréhender le fonctionnement d'un moteur brushless en comparant avec un moteur à courant continu.

3 ORGANISATION PRATIQUE.

Cette activité de travaux Pratiques est organisée en îlots, les activités de simulation et d'expérimentation sont donc menées parallèlement.

Des points de synthèse, animés par le chef de projet, sont prévus régulièrement pour coordonner les activités de chacun.

Les élèves ont à disposition une nacelle non chargée et sans caméra ainsi qu'un système avec un moteur à courant continu (La cheville du robot NAO par exemple)

Pour la suite du TP :

- **il vous sera demandé d'agir uniquement sur l'axe de tangage avec « Aucun » comme type d'« Entrée » pour l'axe de roulis.**

4 ACTIVITE N°2 : DEFINIR LA FTBO DU SYSTEME (TEMPORELLE).

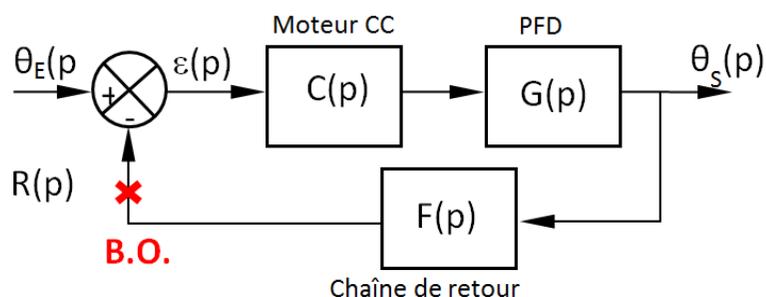
ORGANISER

Analyser la robustesse du modèle et définir le domaine de validité de la modélisation.

Tests avec différentes valeur d'échelon et avec différentes valeurs de gain du correcteur.

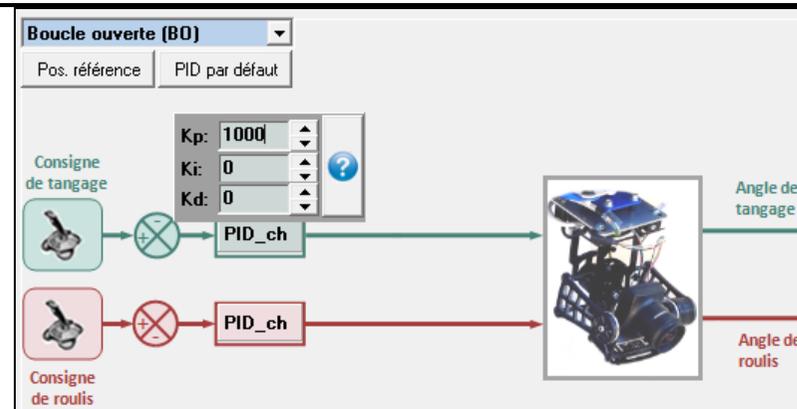
SIMULER

- ✓ Modélisation de la nacelle (modélisation classique avec un moteur CC)



- ✓ Détermination des caractéristiques de la FTBO
- ✓ Evolution de l'angle de tangage en BO
- ✓ Résultats de la simulation

MESURER



- ✓ Mesure de l'angle de tangage avec :
 - Commande en Boucle Ouverte
 - K_p variable et $K_i = K_d = 0$
 - Amplitude échelon 10°
- ✓ Identification des caractéristiques de la FTBO
- ✓ Résultats de l'expérimentation

Diagnostiquer

- ✓ Identifier les causes de l'écart mesuré: Modélisation du moteur BL différente de la modélisation du moteur CC. (Pas d'intégration dans la chaîne directe du moteur BL.)
- ✓ Comparer les résultats avec des mesures effectuées sur un système avec moteur à courant continu (Cheville NAO par exemple)

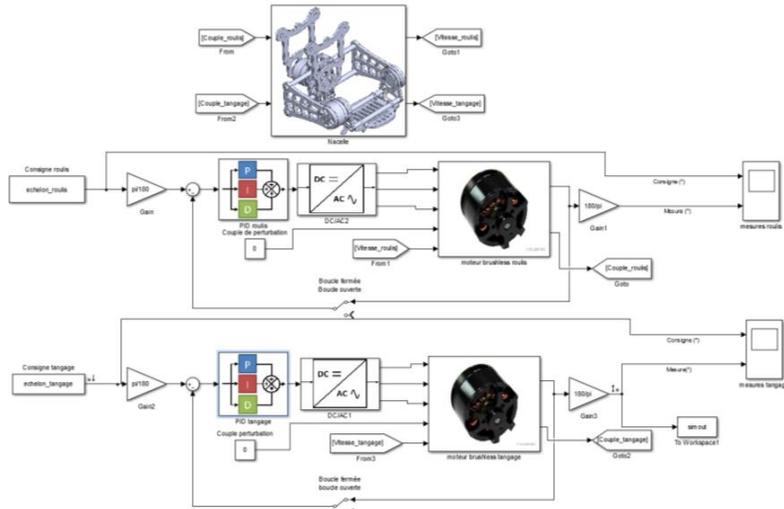
5 **ACTIVITE N°3 :DEFINIR LA FTBO DU SYSTEME (FREQUENTIELLE).**

ORGANISER

Définir les conditions de réalisation du diagramme de Bode et le domaine de validité de la modélisation.

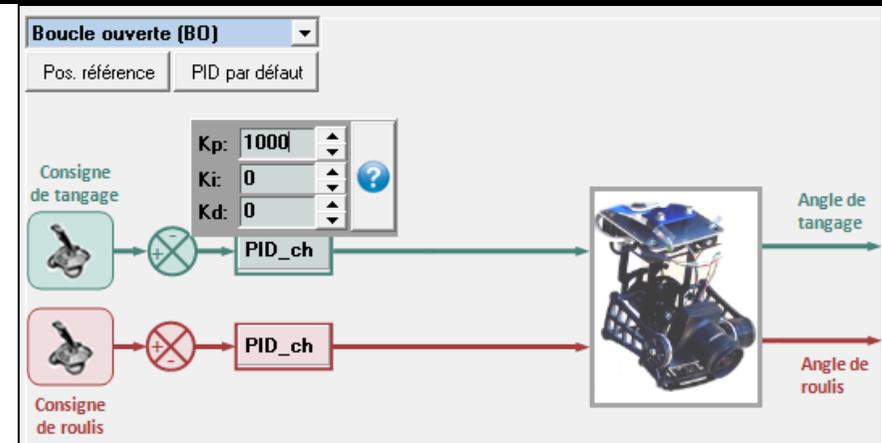
SIMULER

✓ Modélisation de la nacelle



- ✓ Détermination de la FTBO de ce modèle
- ✓ Réaliser un diagramme de Bode du système en BO
- ✓ Résultat de la simulation

MESURER



- ✓ Réalisation Bode du système en Boucle ouverte
- ✓ Caractérisation de la FTBO
- ✓ Résultats de l'expérimentation

Diagnostiquer

- ✓ Modèle de fonction de transfert moteur BL, cohérente. (2ème ordre)
- ✓ Identifier les causes de l'écart mesuré: Mauvaise évaluation des inerties du modèle et des constantes du moteur (résistance interne, inductance). Précision des mesures pour des fréquences élevées. Validité discutable d'un diagramme de Bode pour des systèmes non linéaires.
- ✓ Comparer les résultats avec des mesures effectuées sur un système avec moteur à courant continu (Cheville NAO par exemple)

6 ACTIVITE N°4 :PRECISION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE.

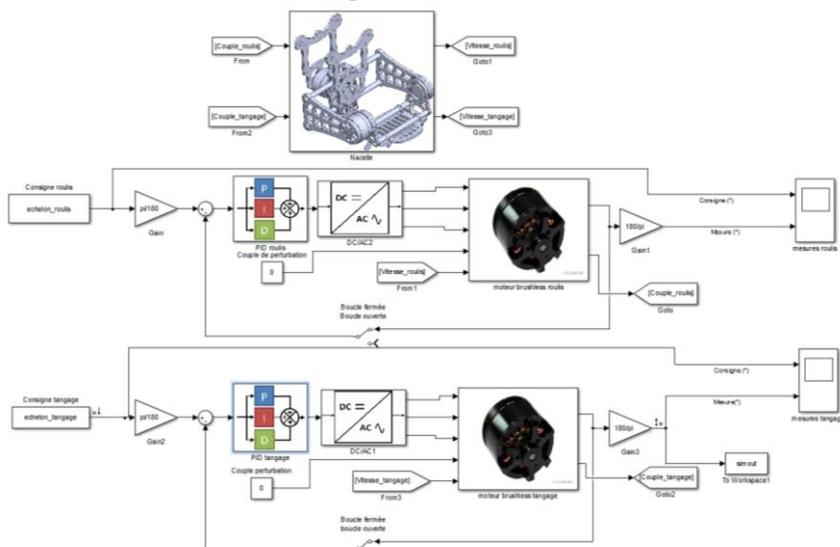
ORGANISER

Les mesures précédentes ont permis de montrer qu'un moteur Brushless tend vers une position finie lorsqu'il est soumis à un échelon de position (au contraire d'un moteur courant continu)

Déterminer le gain proportionnel permettant d'obtenir l'écart statique le plus faible possible en réponse à un échelon de 10°.

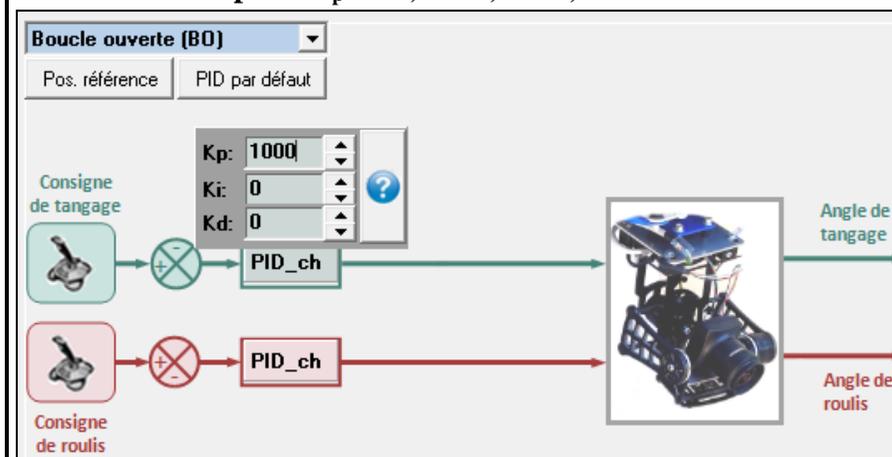
SIMULER

Simulation à faire pour $K_p=600, 1000, 1800, 2500$



MESURER

Mesures à faire pour $K_p=600, 1000, 1800, 2500$



Diagnostiquer

- ✓ La valeur de K_p pour laquelle le gain statique est unitaire est légèrement différent (remettre en cause la modélisation et la précision de la mesure sur le système)
- ✓ La valeur atteinte augmente lorsque le gain proportionnel augmente.
- ✓ A partir d'une certaine valeur du gain, la consigne est dépassée.
- ✓ Le comportement (oscillations) ne change pas en fonction du gain
- ✓ Le système peut être précis en boucle ouverte pour des valeurs bien choisis de K_p !

7 ACTIVITE N°5 :PRECISION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE (ECHELON SUPERIEUR A 25°).

ORGANISER

Les mesures précédentes ont permis de déterminer la valeur du gain proportionnel permettant d'avoir un système précis (gain unitaire) même en boucle ouverte.

Faire des mesures en réponse à différents échelons (10°,20°,30°,40°)

SIMULER

Gain statique en boucle ouverte unitaire ($K_p=1800$)

Variation de la consigne:

10°,20°,30°,40°,60°

MESURER

Gain statique en boucle ouverte unitaire ($K_p=1710$)

Variation de la consigne: 10°,20°,30°,40°,60°

Diagnostiquer

- ✓ Les résultats obtenus par simulation et expérimentation sont comparables.
- ✓ Pour des valeurs d'échelon inférieures à 25° la nacelle atteint la consigne demandée (avec un écart relativement faible)
- ✓ Pour des valeurs supérieures à 25° la nacelle ne vise plus la bonne valeur. (-22° pour un échelon de 30°, -12° pour un échelon de 40°, 8° pour un échelon de 60°)
- ✓ On peut faire un test pour un échelon de 51.5° environ, la nacelle reste immobile. Ce comportement s'explique par la technologie du moteur synchrone. Le moteur de la nacelle possède 7 paires de pôles, les positions d'équilibre sont identiques tous les 51.5° (c'est-à-dire $\frac{360^\circ}{7}$)

8 ACTIVITÉ N°6 :REPETITIONS DES POSITIONS D'EQUILIBRE.

ORGANISER

Le moteur doit avoir des positions d'équilibre tous les 51.5° . Faire une série de mesures pour constater ce phénomène.

SIMULER

Imposer un échelon de 0° , puis mettre des échelons de couple perturbateur (environ 0.1 N.m pendant 0.03s) pour obtenir le déplacement de la nacelle.

MESURER

Imposer un échelon de 0° et faire basculer la nacelle à la main vers le bas puis vers le haut

Diagnostiquer

- ✓ Il existe bien plusieurs positions d'équilibre stable pour une même consigne. Une consigne correspond à la création d'un champ magnétique grâce aux bobines, ce champ magnétique impose la position du rotor à 51.5° près.

9 CONCLUSION GÉNÉRALE

- ✓ Synthétiser les différences entre un moteur Brushless et un moteur CC.