

Support technologique : Drone D2C

Objectif :

Etudier la boucle de vitesse du drone didactique du point de vue expérimental et simulée.

Identifier la motorisation {moteur, hélice } par un modèle de comportement

Etudier la réponse à une sollicitation harmonique

Durée de la séance : 2 heures avec permutation à mi-séance



Système souhaité

Service attendu



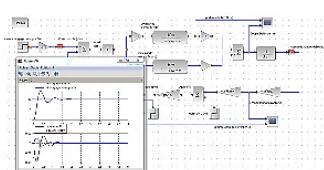
Système en situation d'usage

Service réalisé



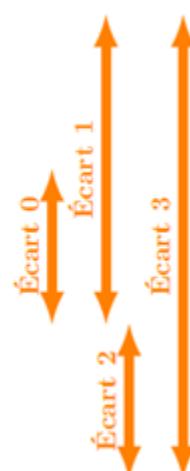
Système en laboratoire

Service mesuré



Système simulé

Service simulé



Démarche ingénieur : minimiser les écarts

AVERTISSEMENT

VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION.

Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire tout le sujet
- Partie **1** à faire : doit être faite avant la séance de TP. Ne doit pas être abordée pendant la séance de TP. Sera présentée au professeur en début de séance.

Revoir les notions suivantes

- Identification d'une fonction de transfert du 1^{er} ordre (déterminer K et τ)
- Pulsation de cassure ω_K : qu'est-ce donc ? Expression de ω_K pour un 1^{er} ordre ? Valeur du déphasage à la pulsation ω_K pour un 1^{er} ordre ?



Vous disposez

- Du sujet



Vous devez rendre

- Rédaction sur cahier de TP.



Contexte de l'étude : pourquoi une boucle de vitesse ?

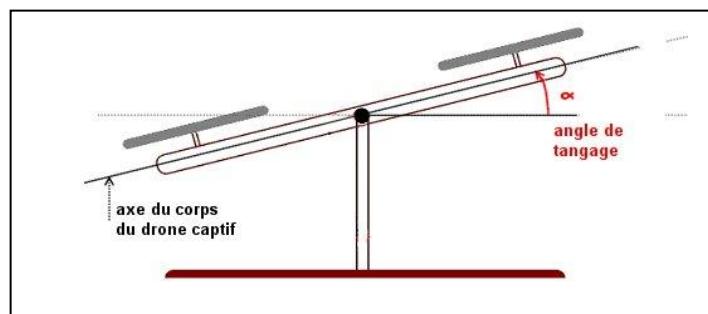
Obtenir le vol stable d'un drone quadrirotor n'est pas chose facile. La mise en place de boucles d'asservissement autour de la centrale inertIELLE et de correcteurs dans le microcontrôleur permet d'atteindre cet objectif.

Pour pouvoir réaliser un vol en translation, le drone doit pouvoir être placé dans une position inclinée vers l'avant.

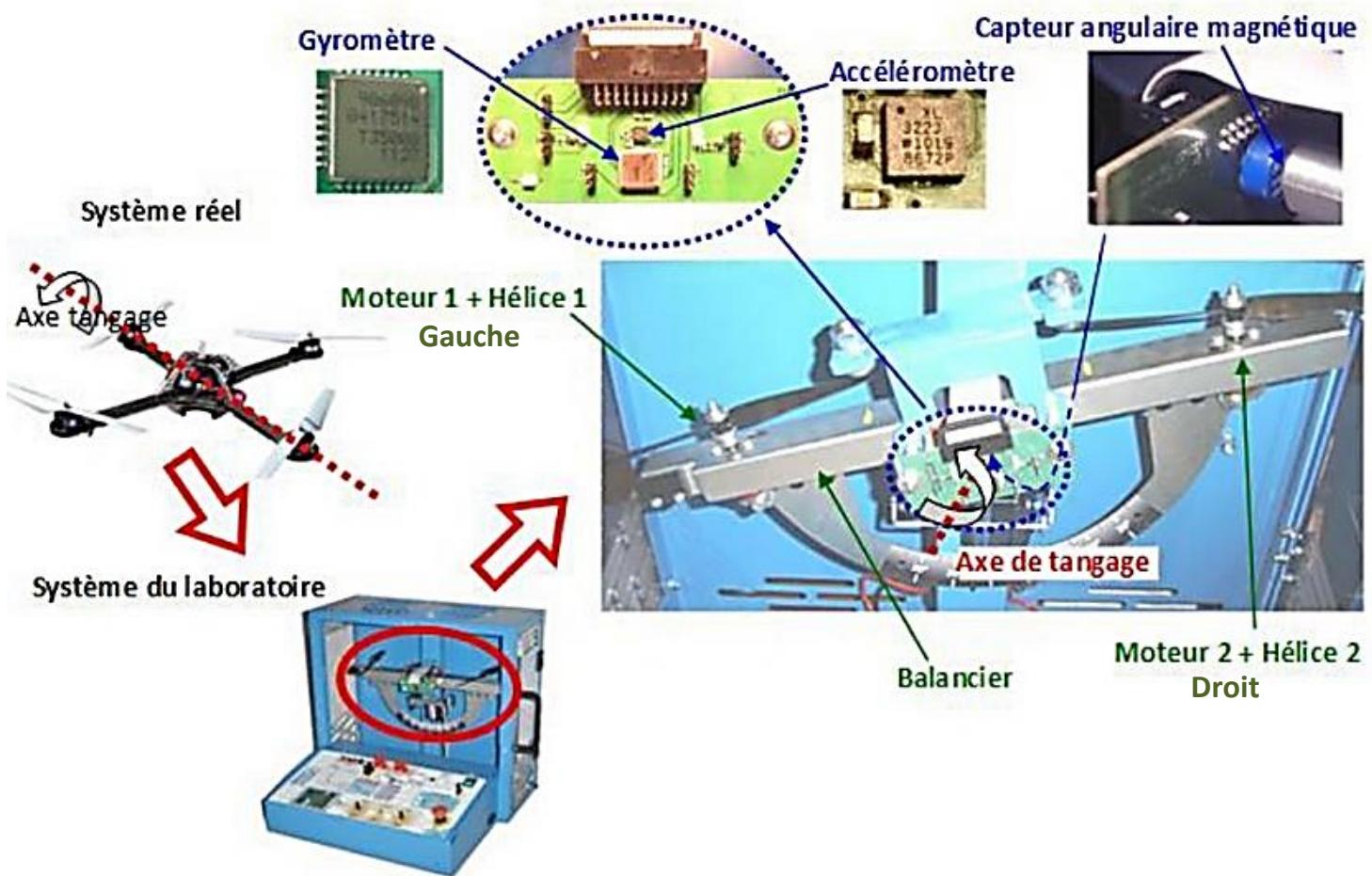
C'est l'étude du **passage à cette position inclinée, et du maintien de cette position inclinée qui est l'objet du travail proposé**. Le problème étudié ici n'est donc pas le problème de la stabilisation verticale (altitude) mais le problème de la stabilisation angulaire (tangage). (voir figure ci-contre)



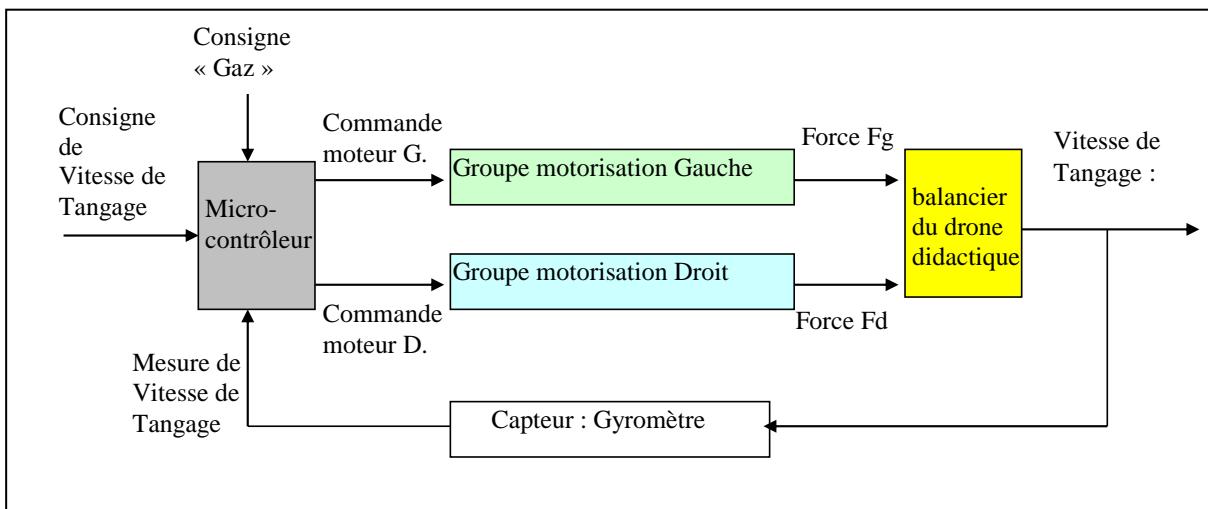
Nous verrons que la boucle de vitesse interne à la boucle de position, permet d'améliorer les performances de la boucle de position.
Le travail proposé porte sur le réglage expérimental de cette boucle de vitesse, et sur la « commande en vitesse angulaire » du drone



Présentation matérielle du drone didactique D2C (Drone Didactique Contrôlé)



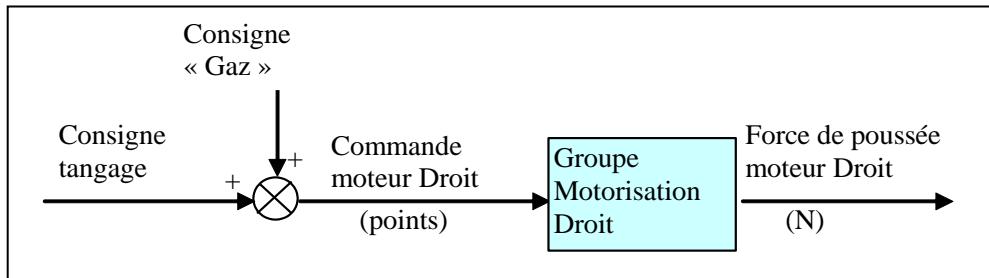
Le schéma-bloc ci-dessous présente globalement la boucle d'asservissement autour du microcontrôleur de la « carte pupitre », dans le cas d'une commande « en vitesse ».



Le microcontrôleur reçoit la consigne de vitesse de tangage, ainsi que la mesure de la vitesse réalisée par le gyromètre de la centrale inertuelle du drone didactique.

Le schéma bloc ci-dessous représente le bloc « motorisation » et les grandeurs physiques cause/conséquence.

Pour obtenir le modèle de comportement de la motorisation seule, il s'agira de commander le système D2C en « boucle ouverte ». L'analyse sera effectuée seulement sur le moteur droit.



Ce schéma permet de visualiser la grandeur d'entrée « commande moteur » et la grandeur de sortie « Force ».

C'est cette force dont le moment fait basculer le balancier du drone didactique qui devra être mesurée.

A noter : tous les traitements réalisés par le microcontrôleur (et en particulier la grandeur « commande moteur », sont exprimés en « points », sur une échelle [-32767 ; +32767] qui correspond à un code binaire en 15 bits signés.

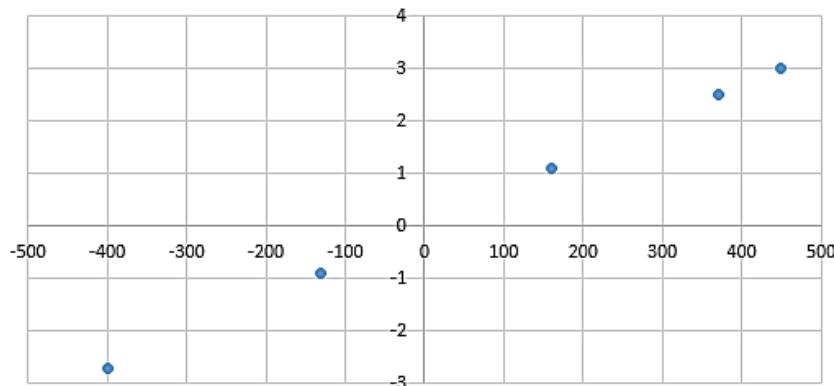
1^{ère} PARTIE : TRAVAIL DE PRÉPARATION

Cette partie se fait individuellement.
Elle se prépare avant la séance de TP... chez soi.

Q1. Lire la présentation et le contexte de l'étude. Bien se référer au schéma bloc de la 3^{ème} partie (simulation), pour la suite.

Q2. Pour mesurer la vitesse de tangage instantanée du drone le capteur utilisé est un gyromètre. Il converti l'information de vitesse $\omega_{tangage}$ ($^{\circ}/s$) en tension électrique U_{gyro} (V). Il a été étalonné en laboratoire. On donne ci-dessous le résultat des mesures.

Etalonnage du gyromètre - tension (V)=f(vitesse $^{\circ}/s$)

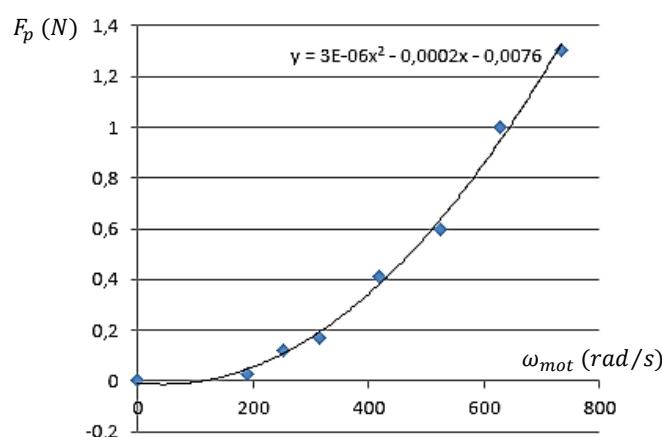


- L'approximation de linéarité du capteur est-elle correcte ?
- Déterminer le gain du capteur K_{gyro} en $V/(^{\circ}.s^{-1})$

Q3. Déterminer le gain de l'adaptateur de consigne K_{adapt} .

Q4. D'un point de vue causal, une hélice est vue comme un bloc ayant pour entrée la vitesse angulaire ω_{mot} en rad/s. La conséquence de cette vitesse angulaire est la portance F_p en N.

Pour déterminer la fonction de transfert de l'hélice K_{hel} on a réalisé une série de mesures en laboratoire sur le drone : mesures de la portance F_p pour plusieurs valeurs de vitesse ω_{mot} . Le nuage de point, résultat des essais est donné ci-dessous.

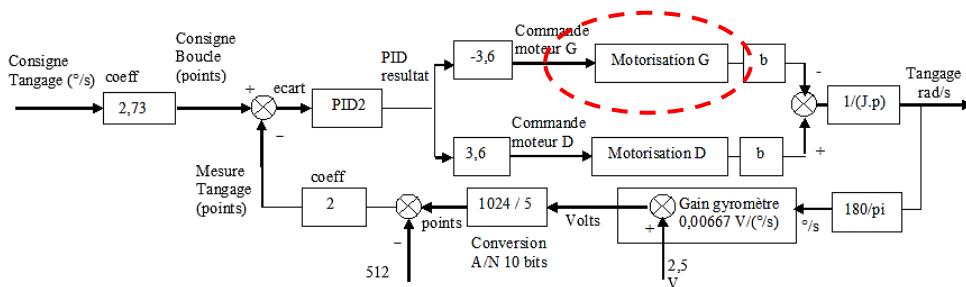


On constate l'allure quadratique de la portance en fonction de la vitesse. La courbe de régression de degré 2 est représentée dans le nuage de point.

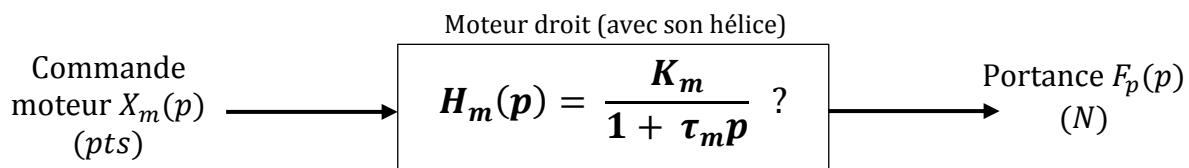
- Sachant que la vitesse de l'hélice varie peu autour de 4000 tr/min, déterminer par linéarisation la fonction de transfert de l'hélice : $K_{hel} = \left[\frac{F_{portance}(p)}{\Omega_{mot}(p)} \right]_{\omega_{mot}=400 \text{ rad/s}}$.

2^{ème} PARTIE : EXPERIMENTATION

Travail 1 – Modèle de comportement d'un ensemble {moteur, hélice} seul



Vous allez identifier le {moteur, hélice} selon un **modèle de comportement** du premier ordre (détermination du gain statique K_m et de la constante de temps τ_m par expérimentation avec une consigne échelon) : voir le protocole ci-après.



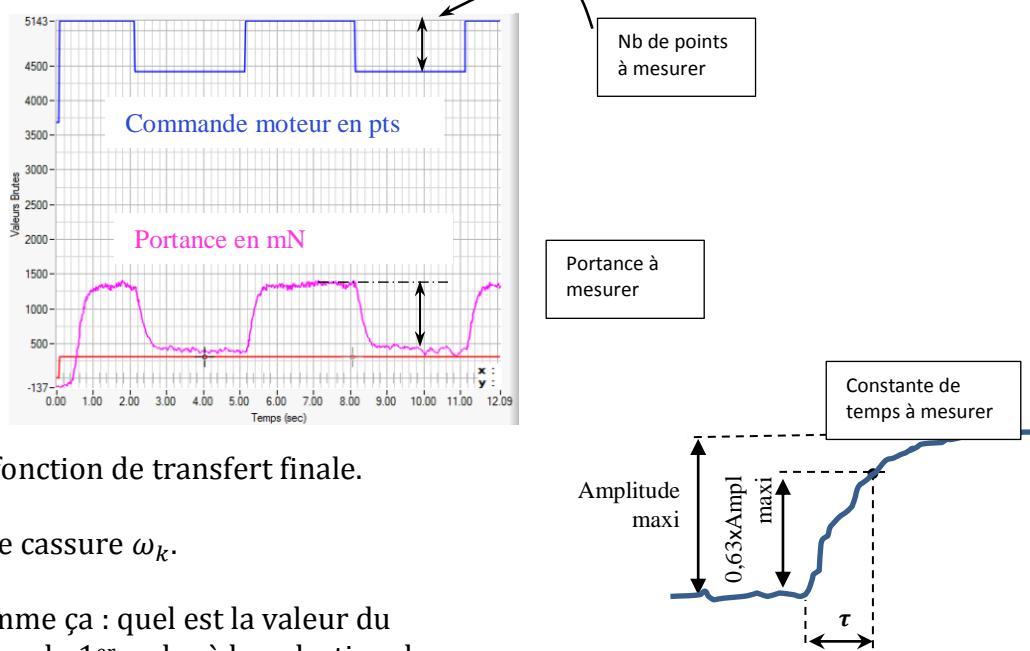
Expérimenter pour obtenir la réponse temporelle de la motorisation « groupe motorisation droit » dans les conditions suivantes :

- autour du « point de fonctionnement » Gaz à 30%
- avec un échelon de consigne choisi entre [-2% ; +2%] et [-10% ; +10%].

Se reporter à **l'annexe 2** pour les conditions pratiques de la réalisation de l'expérience. La portance (mN) et la commande moteur (nb de points) sont lues sur l'affichage PC. Attention : il faut mesurer des amplitudes. A t=0 les grandeurs ne sont pas forcément nulles.

Comme nous ne sommes pas dans les conditions de Heaviside (valeurs initiales non nulles !), il faut mesurer les amplitudes du signal comme représenté ci-dessous.

De même : attention au décalage temporel pour la constante de temps.

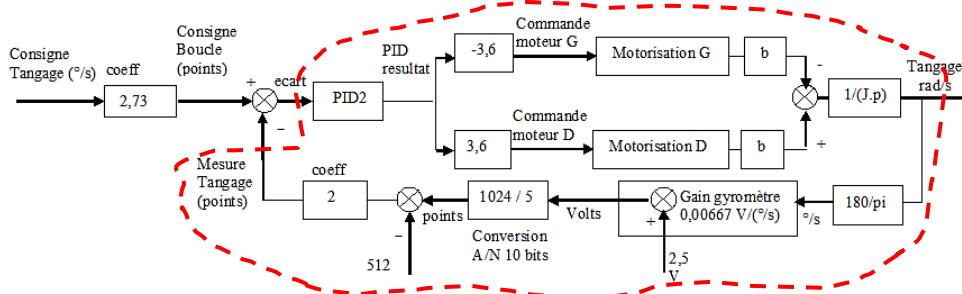


Ecrire proprement la fonction de transfert finale.

Déduire la pulsation de cassure ω_k .

Une question juste comme ça : quel est la valeur du déphasage d'un système du 1^{er} ordre à la pulsation de cassure ? (Ca aidera pour la suite)

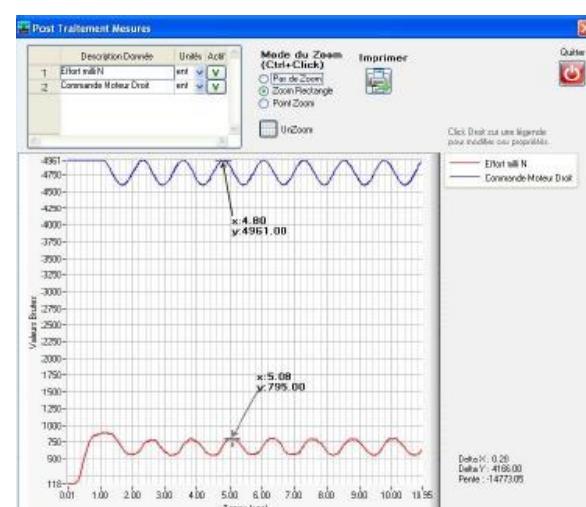
Travail 2 - Réponse harmonique de la boucle ouverte



Se reporter à l'**annexe 3** pour les conditions pratiques de la réalisation de l'expérience.

Expérimenter avec une entrée sinusoïdale.

- Deux grandeurs entrée/sortie à afficher : consigne tangage PC (ou commande moteur droit) effort milli N
- Pulsation = **pulsation de cassure ω_k** du modèle identifié au travail 1
- Mesurer le déphasage sortie/entrée φ_{mes} : l'exprimer en radian ET en degré.
- Comparer les valeurs : du déphasage attendu φ_{att} (modèle 1^{er} ordre précédent) et du déphasage mesuré φ_{mes} .
- Proposer une explication aux écarts éventuellement constatés.



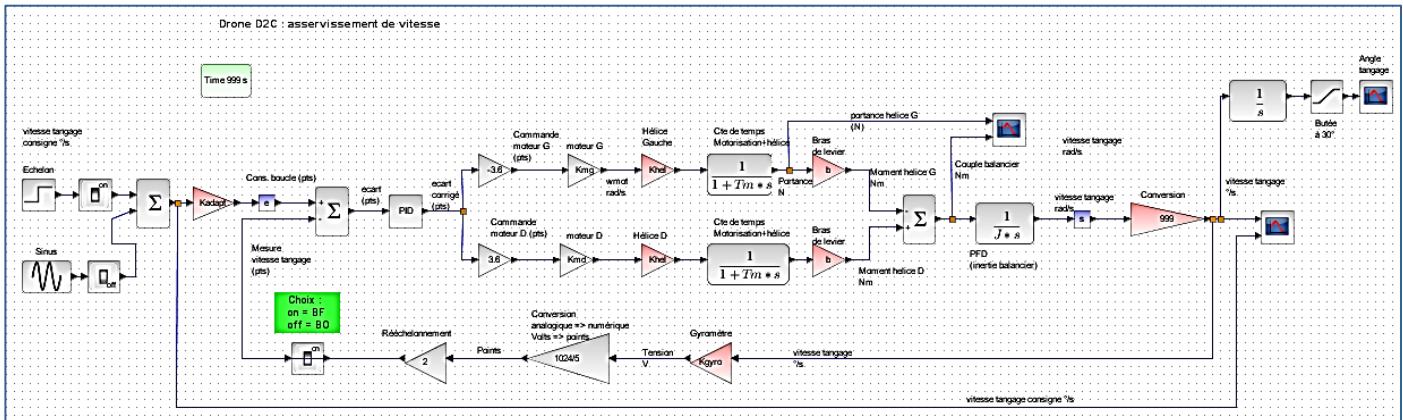
FIN DE LA PARTIE 2 : Permutation

PARTIE 3 - SIMULATION

Ouvrez le logiciel *Scilab 5.32b* à partir du bureau du PC (dossier « logiciel mathématique »), et non par une recherche Windows (sinon vous ouvrirez une mauvaise version sans vous en rendre compte).

Ouvrez le schéma bloc « *Boucle asservissement vitesse - eleve* », dans le module *Xcos* de *Scilab*.

Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à ceci :



Pour saisir les valeurs définies de manière formelle : *clic droit sur le fond d'écran/modifier le contexte*, etc.

Finalisation du schéma bloc simulé

- Saisissez la valeur des gains des **blocs rouges** K_{hel} , K_{adapt} , K_{gyro} . C'est rapide et ne pose pas de problème car vous avez déterminé ces gains en travail préparatoire « maison ».
- Saisissez la valeur du bloc nommé « **conversion** ».
- Rendez-vous sur le système et mesurez avec une règle graduée la valeur de la **distance b** (=bras de levier de l'effort de portance par rapport à l'axe de rotation du balancier de tangage). Veillez à déranger le groupe expérimentateur le moins possible. Réfléchissez à votre mesure avant de vous rendre sur le Drone, pour limiter le temps d'intervention.
- Saisissez le valeur de **b**.

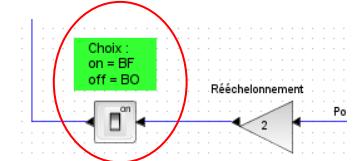
Cas particulier de K_{mg} (et K_{md})

Vous avez déterminé dans la partie expérimentale (ou allez déterminer), le gain statique K_m de l'ensemble {moteur, hélice}. L'ordre de grandeur de K_m est 1,1 mN/pt.

Le schéma bloc de la simulation offre le détail moteur, hélice en affichant chaque gain statique. Vérifier que le produit $K_{mg} \times K_{hel}$ est bien de l'ordre de grandeur de K_m .

Simulation en boucle fermée

Lancer la simulation en boucle fermée (**interrupteur chaîne retour sur « on »**).



Durée de la simulation : bloc « *Time* ». A vous de d'adapter la bonne valeur pour avoir une bonne visualisation de la réponse.
Consigne $10^\circ/\text{s}$.

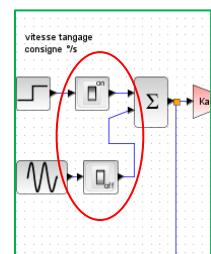
- Décrire la réponse temporelle obtenue. Comparer avec la réponse expérimentale si vous avez permuté.
- Donner la valeur du temps de réponse à 5%.

Simulation harmonique en boucle ouverte (consigne sinus)

La pulsation du signal sinusoïdal imposé est $5 \text{ rad/s} = \frac{1}{0,2\text{s}}$, donc inverse de la constante de temps évaluée lors de l'expérimentation.

La valeur 5 rad/s est donc la pulsation de cassure expérimentale ω_K de la boucle ouverte du premier ordre.

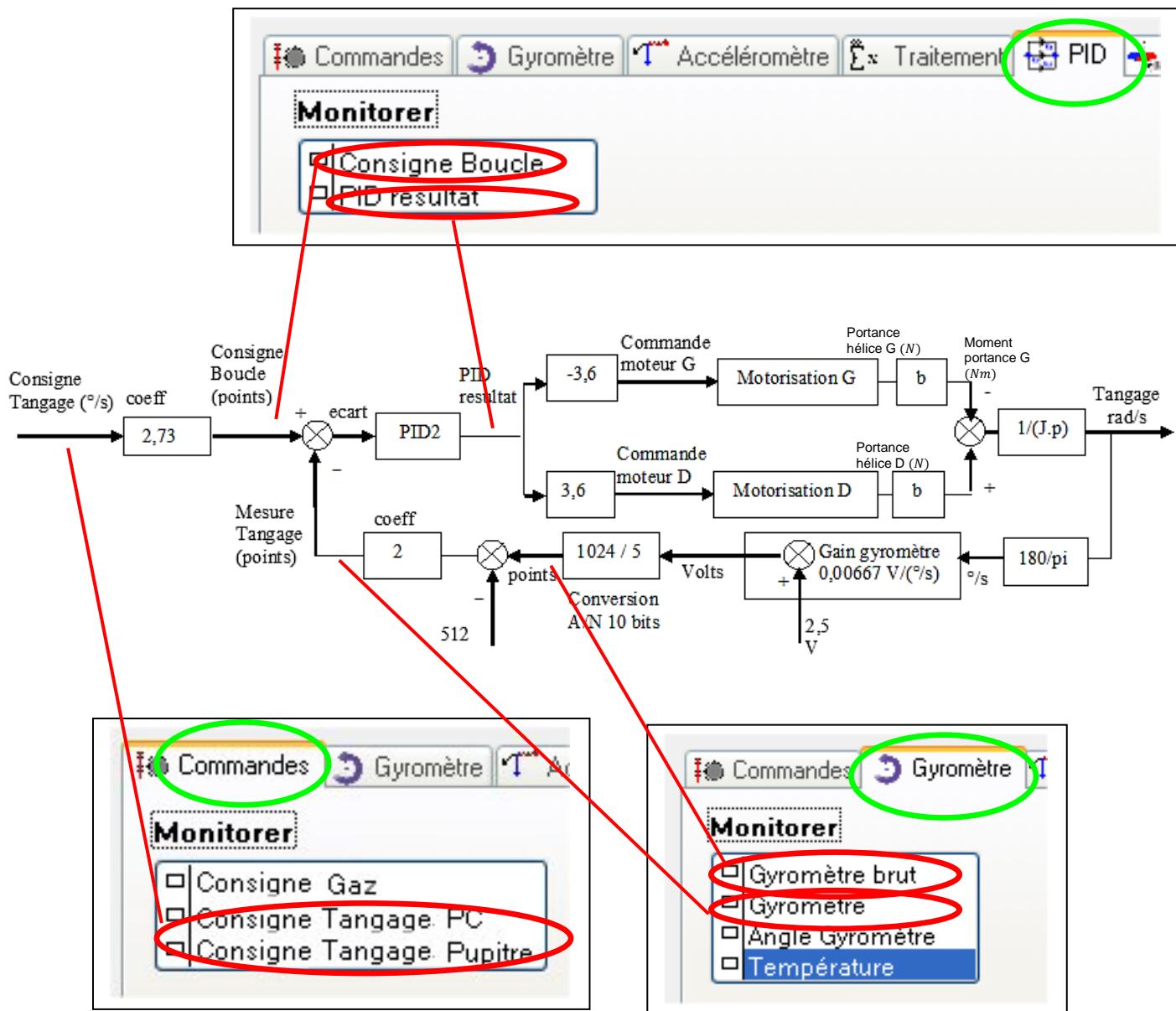
- Vérifier que cette valeur de pulsation est bien saisie dans le bloc consigne sinus.
- Lancer la simulation en boucle ouverte avec une consigne sinus (commuter le deux interrupteurs des entrées selon la bonne combinaison « *on/off* »).
- Mesurer le déphasage. Correspond-il au déphasage attendu pour un premier ordre à la pulsation de cassure ?
- Mesurer le gain en dB : atténuation ou amplification ?
- Quel est le rôle du bloc nommé « *butée à 30°* » ? Donner le nom de ce type de bloc.



FIN DE LA PARTIE 3 : Permutation

FIN DU SUJET

Annexe 1 : boucle de vitesse du Drone D2C et prise d'information des grandeurs



$$\text{Fonction de transfert de chaque moteur : } F_m(p) = \frac{K_m}{1+\tau_{m,p}} = \frac{\text{Force de portance (N)}}{\text{Commande moteur (points)}}$$

Fonction de transfert du balancier : $F_b(p) = \frac{1}{J_p}$ (J =moment d'inertie du balancier par rapport à l'axe de sa liaison pivot avec le bâti)

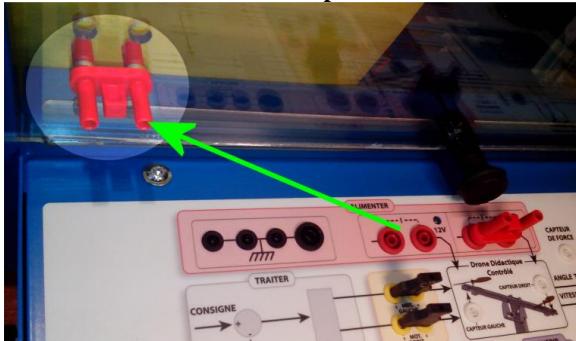
Bras de levier de l'effort de portance par rapport à l'axe du pivot balancier : b

Annexe 2 : condition de l'expérimentation pour identifier le moteur droit

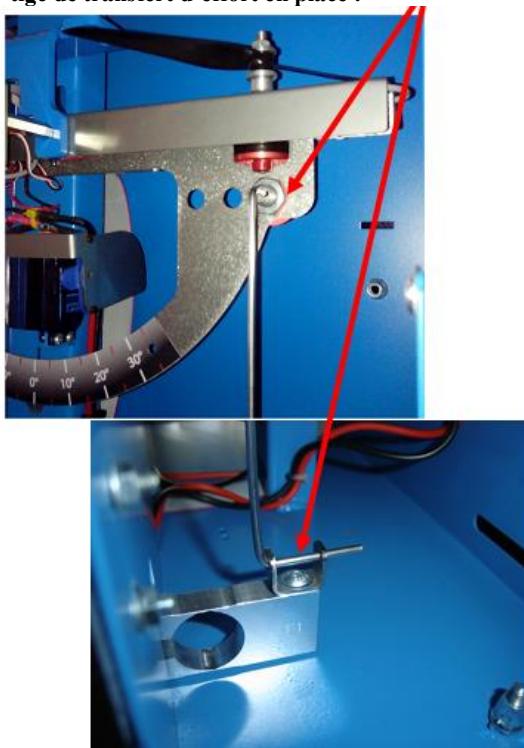
Conditions d'expérimentation

a) Conditions d'expérimentation « pupitre » et « système »

- système branché ; interrupteur « 0/1 » sur 1
- 3 cavaliers noirs commande moteurs et bloqueur en place.
- cavalier alim moteur gauche enlevé
- cavalier alim moteur droit en place.



- bouton « commande bloqueur » sur « tangage libre » ;
- bouton « PC/MANU » sur PC
- **bouton BO/BF sur « Boucle Ouverte »** ;
- potentiomètre « Moteur Gauche » en position gauche (0%) ;
- potentiomètre « Moteur Droit » en position gauche (0%) ;
- **tige de transfert d'effort en place** :



c) Conditions d'expérimentation : « affichage »

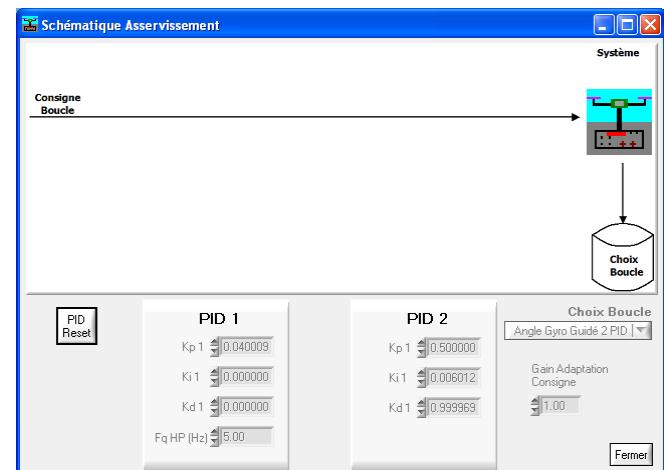
(cliquer sur « commandes » si pas d'accès direct)
monitored : « **Commande moteur droit** »
et « **Effort milli N** » :



b) Conditions d'expérimentation « choix boucle »

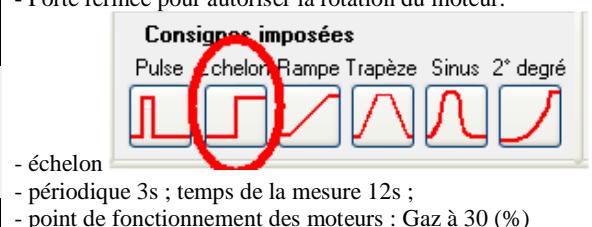


: boucle « ouverte » activée par le bouton du pupitre



d) Condition d'expérimentation : « consignes »

- Porte fermée pour autoriser la rotation du moteur.



Une fois la mesure réalisée, les résultats seront enregistrés et une fenêtre de post-traitement s'affichera ; un accès aux résultats enregistrés est toujours possible ultérieurement avec l'icône « Affichage Mesures » :

- consigne choisie entre [-2% ; +2%] et [-10% ; +10%]

Paramètres de la mesure

Choix Boucle

Boucle Ouverte

Périodique Unique Période (sec) : 3.00

Consigne initiale : -2.00 Consigne Finale : 2.00

Temps de la mesure (sec) : 12.00 Gas : 30

Consigne

Temps (sec)

Mesure **Fermer**

- cliquer sur « mesure » et donner un nom au fichier de sauvegarde pour lancer l'expérimentation.

Annexe 3 : condition de l'expérimentation pour une consigne harmonique

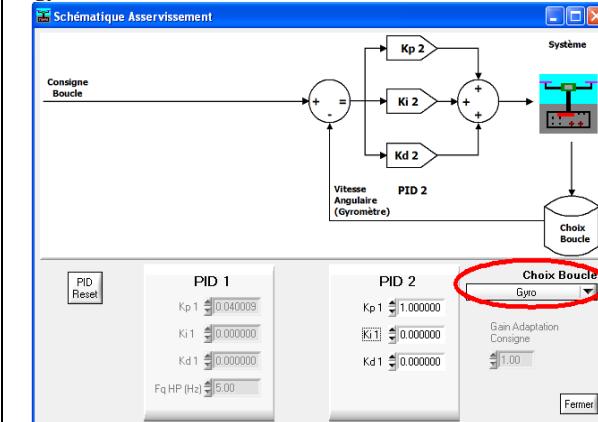
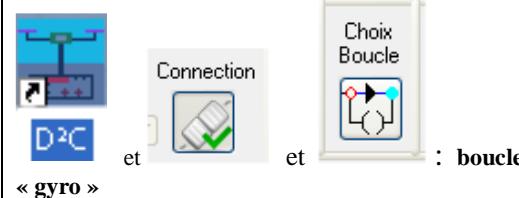
<p>a) Conditions d'expérimentation « pupitre » et « système »</p> <ul style="list-style-type: none"> - idem annexe 2, avec la tige de transfert d'effort toujours en place - Les deux cavaliers moteurs rouges doivent être connectés 	<p>b) Conditions d'expérimentation « choix boucle »</p> <ul style="list-style-type: none"> - idem annexe 2
<p>c) Conditions d'expérimentation : « affichage »</p> <ul style="list-style-type: none"> - idem annexe 2 	<p>d) Condition d'expérimentation : « consignes »</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porte fermée pour autoriser la rotation des moteurs. - sinus <div data-bbox="779 743 1224 900"> <p>The image shows a software interface with a title "Consignes imposées". Below it are five waveform icons with labels: "Pulse", "Echelon", "Rampe", "Trapèze", and "Sinus 2° degré". The "Sinus 2° degré" icon is circled in red.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> - Amplitude de -10 à +10 « consigne initiale, consigne finale », ou moins, à vous de voir...

Annexe 4 : condition de l'expérimentation en boucle fermée

a) Conditions d'expérimentation « pupitre » et « système »

- bouton BO/BF sur « Boucle fermée » ;
- potentiom. « Commande moteurs » en position gauche (0%) ;
- potentiom. « Commande Tangage » en position centrale ;
- Tige de transfert d'effort enlevée

b) Conditions d'expérimentation « choix boucle »



c) Conditions d'expérimentation : « affichage »

(cliquer sur « commandes » si pas d'accès direct)
monitorer : « gyromètre » et « consigne boucle » :



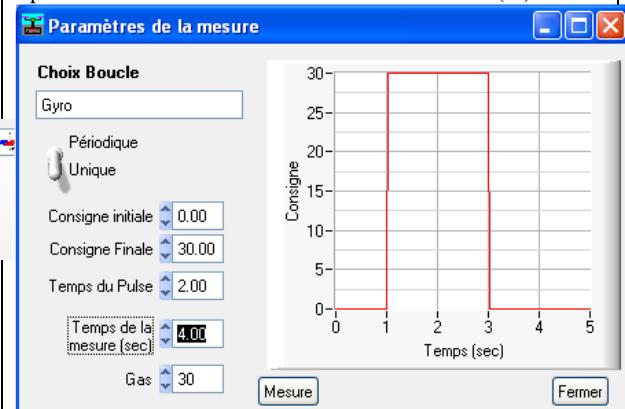
Une fois la mesure réalisée, les résultats seront enregistrés dans un fichier (à nommer préalablement) et une fenêtre de post-traitement s'affichera ;
un accès aux résultats enregistrés est toujours possible ultérieurement avec l'icône « Affichage Mesures » :



d) Condition d'expérimentation : « consignes »



- pulse
- consigne initiale : 0 ; consigne finale 30°/s [ou -30°/s selon la position initiale] ; temps pulse : 2 s ; temps mesure : 4 s ;
- point de fonctionnement des moteurs : Gaz à 30 (%)



- Ouvrir la porte ; Positionner manuellement le balancier du côté du départ (inclinaison gauche si consigne positive ; inclinaison droite si consigne négative),
- fermer la porte et cliquer sur « mesure » : donner un nom au fichier ; la mise en mouvement se fait dès le clic sur « Enregistrer » »