

## Support technologique : Drone D2C

### Objectif :

Identifier la motorisation d'un drone (moteur + hélice). C'est-à-dire établir son modèle de comportement.

Compléter le schéma bloc de l'asservissement en vitesse de tangage d'un drone.

Prévoir la réponse en vitesse grâce à la simulation.

Durée de la séance : 2 heures



Système souhaité

Service attendu



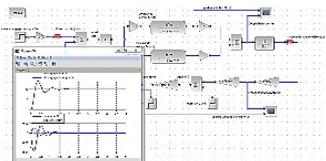
Système en situation d'usage

Service réalisé



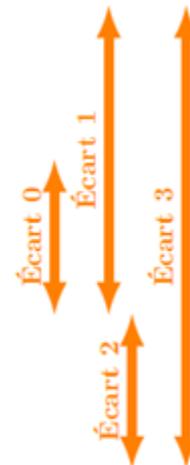
Système en laboratoire

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

Revoir les notions

- Fonction de transfert du 1<sup>er</sup> ordre
- Performance des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité, amortissement



### Vous disposez

- Du sujet
- Des documents numériques : feuille de calcul et modèle causal schéma bloc.



### Vous devez rendre

- Copie personnelle double soignée répondant aux questions posées. Les questions doivent être **CLAIREMENT** séparées (sauter au moins deux lignes et tracer un trait horizontal). Les résultats finaux doivent être encadrés.



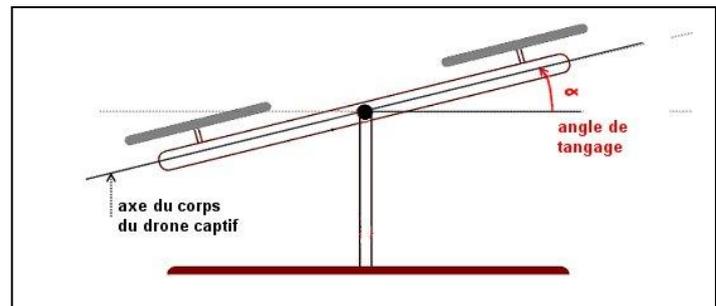
## Contexte de l'étude : pourquoi une boucle de vitesse ?

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.

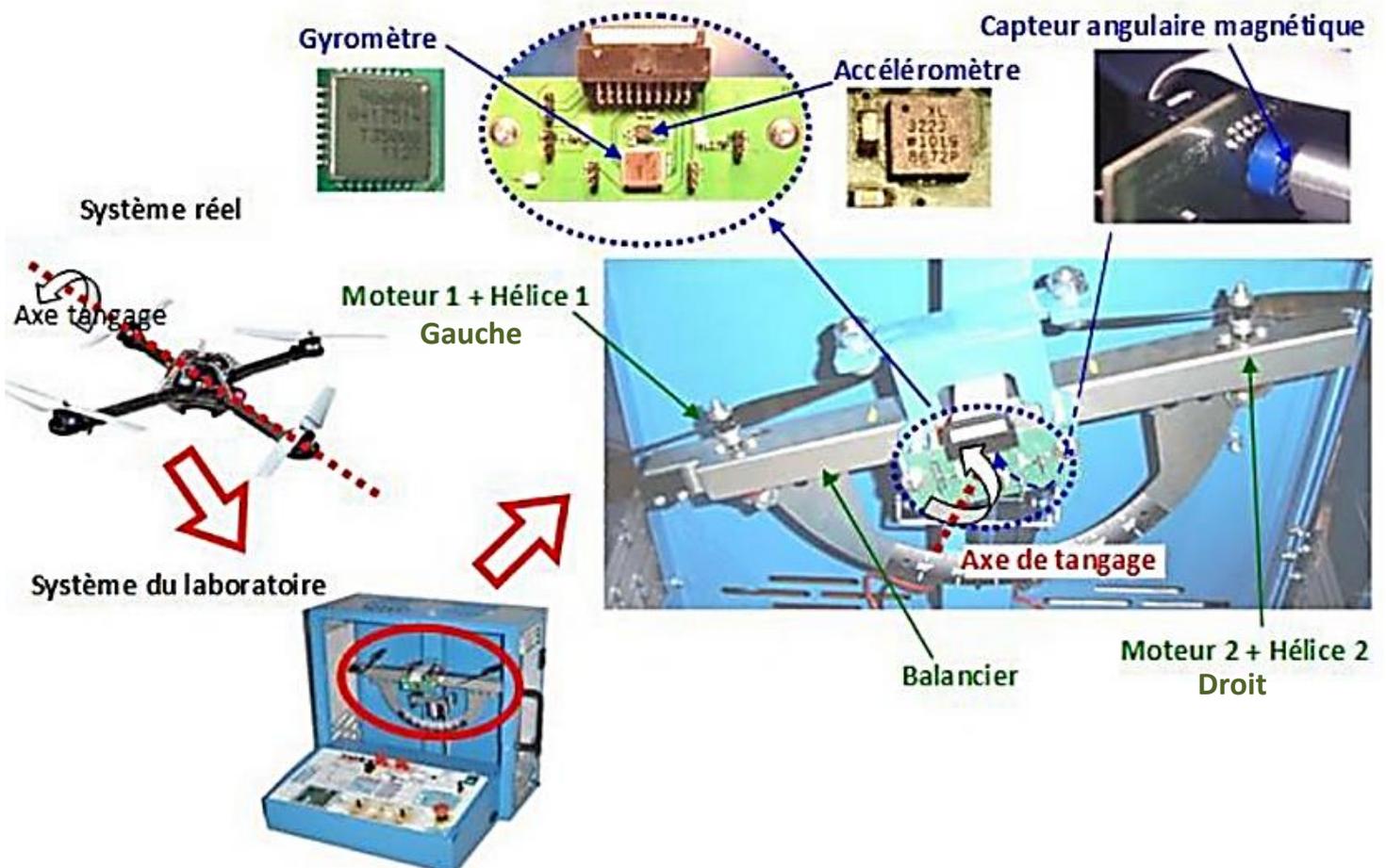
Pour pouvoir réaliser un vol en translation, le drone doit pouvoir être placé dans une position inclinée vers l'avant.

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)

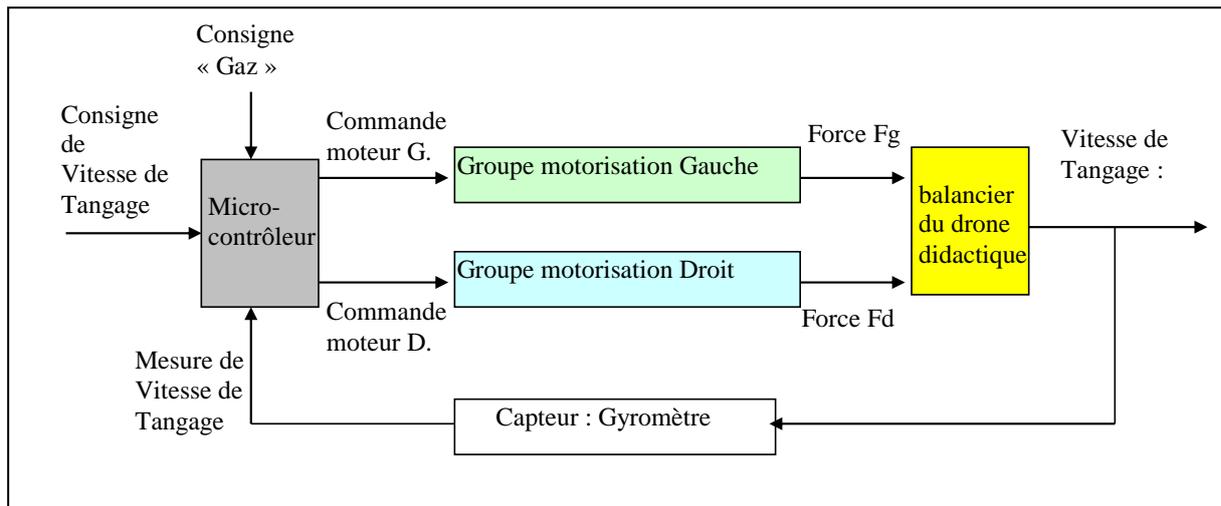
Nous verrons que la boucle de vitesse interne à la boucle de position, permet d'améliorer les performances de la boucle de position. Le travail proposé porte sur le réglage expérimental de cette boucle de vitesse, et sur la « commande en vitesse angulaire » du drone



## Présentation matérielle du drone didactique D2C (Drone Didactique Contrôlé)



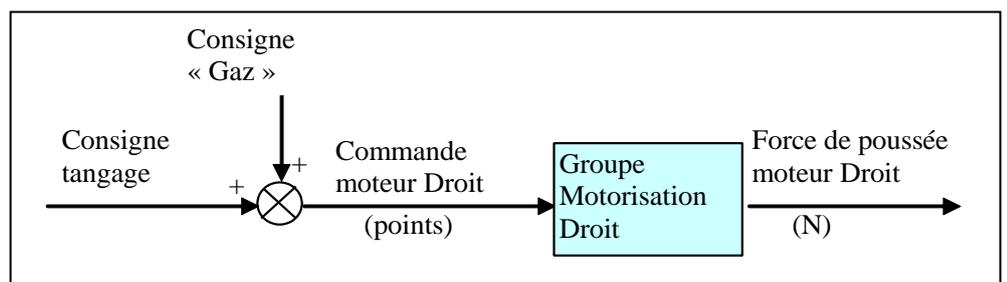
Le schéma-bloc ci-dessous présente globalement la boucle d'asservissement autour du microcontrôleur de la « carte pupitre », dans le cas d'une commande « en vitesse ».



Le microcontrôleur reçoit la consigne de vitesse de tangage, ainsi que la mesure de la vitesse réalisée par le gyromètre de la centrale inertielle 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.

## Travail 1 – Prise en main du système – Pilotage manuel

Juste pour « sentir » l'effet de la vitesse de rotation des moteurs sur le tangage du drone, vous allez réaliser la manipulation simple et ludique suivante.

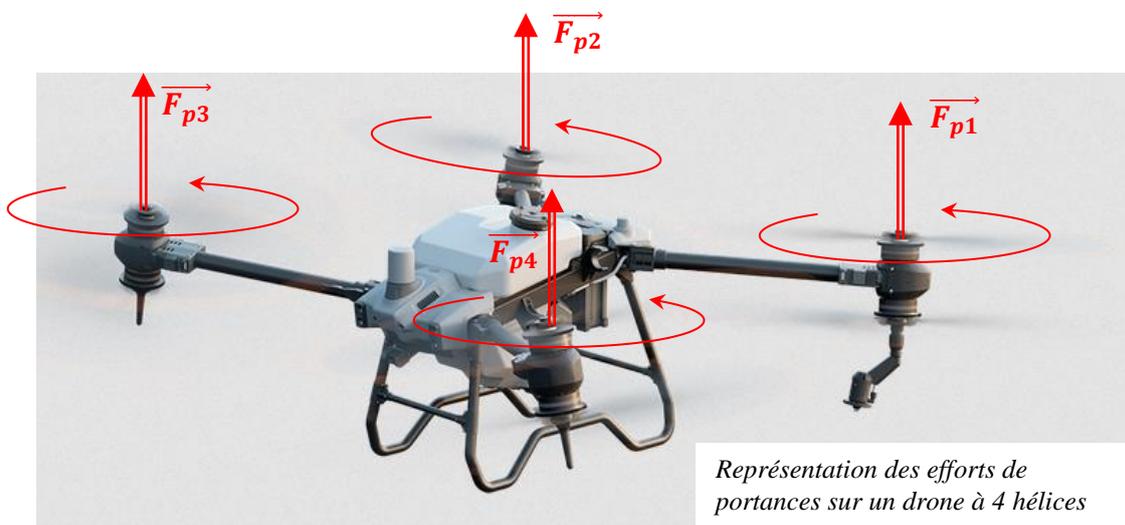
Reportez-vous à l'**annexe 2** pour configurer le système.

- Tournez les potentiomètres de commande moteur progressivement pour stabiliser le drone en position horizontale.
- Tournez les potentiomètres de commande moteur pour stabiliser le drone en position 20°.

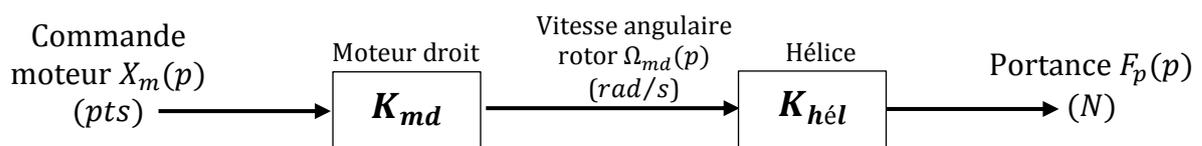
## Travail 2 – Modèle de comportement de la motorisation seule : gains statiques

La rotation de l'hélice provoque, au contact de l'air, un effort de portance de l'air sur l'hélice. Cet effort est vertical ascendant.

Cette force permet le maintien du drone en altitude, ainsi que son tangage pour le faire avancer.



Le schéma bloc modélisant une des deux motorisations du drone didactique est donc :



On représente le moteur par la fonction de transfert de type gain :  $K_{md} = \frac{\Omega_{md}(p)}{X_m(p)}$

On représente l'hélice par la fonction de transfert de type gain :  $K_{hél} = \frac{F_p(p)}{\Omega_{md}(p)}$

Votre objectif est de déterminer les gains  $K_{md}$  et  $K_{hél}$ .

Reportez-vous à **l'annexe 3** pour mettre le drone dans la bonne configuration de mesure.

👉 COPIER LE DOCUMENT FEUILLE DE CALCUL DE TYPE EXCEL « *Identification gain motorisation* » DANS UN REPERTOIRE PERSONNEL.

Ouvrez ensuite cette feuille de calcul. Ne pas modifier l'original !

### Détermination de $K_{md}$

Quelle est l'unité de  $K_{md}$  ?

Faire 5 mesures pour des entrées  $X_m$  réparties d'environ 3600 à 5200 points.

Remplir le tableau adéquat du document « *Identification gain motorisation* ». Déduire le gain  $K_{md}$ .

### Détermination de $K_{hél}$

Quelle est l'unité de  $K_{hél}$  ?

Faire 8 mesures pour des vitesses de 0 à 7000 tr/min. Ne pas oublier de sélectionner l'affichage (« monitoring ») de la portance en mN ( $1mN = 10^{-3}N$ ).

Remplir le tableau.

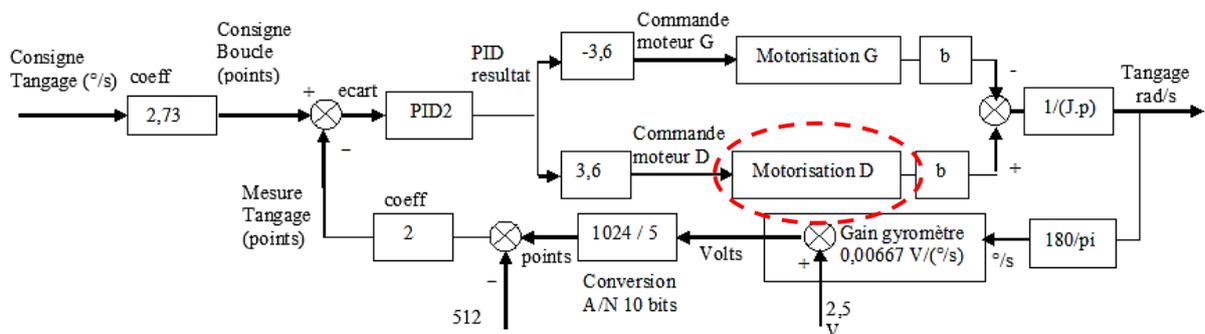
Observer le nuage de points : qu'est ce qui est contraire à l'hypothèse d'étude des Systèmes Linéaires Continus Invariants (SLCI) ?

Déduire le type de loi physique reliant la poussée d'une hélice à sa vitesse de rotation.

Linéarisation : détermination d'une valeur de  $K_{hél}$  pour une plage restreinte de vitesse donnée.

En pratique, lors de l'utilisation du drone, la vitesse des hélices se situe aux environs de 4000 tr/min.

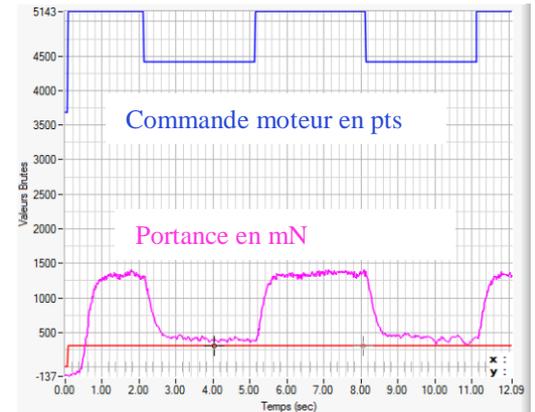
Déduire le gain  $K_{hél}$  pour une vitesse du rotor de 4000 tr/min. Le gain que vous venez de déterminer sera valable dans une plage restreinte autour de 4000 tr/min.



### Travail 3 - Modèle de comportement de la motorisation : constante de temps

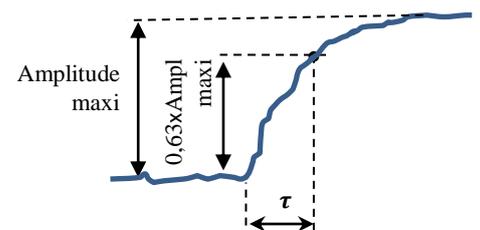
#### Constante de temps de la motorisation $\tau_m$

Lancer un essai en affichant la commande moteur droit (en points) et la portance en mN. Consigne [-10% ; +10%]. Vous obtenez une réponse qui ressemble à la figure ci-contre.



Si on retient un modèle 1<sup>er</sup> ordre de la réponse, on rappelle pour la constante de temps  $\tau$  :

A l'instant  $t = \tau$ , l'amplitude du signal de sortie est 0,63 fois l'amplitude maximale. Cela va permettre de déterminer la constante de temps  $\tau$  de la motorisation. Ceci est illustré sur la figure ci-contre.



Déterminer la constante de temps  $\tau_m$  de la motorisation.

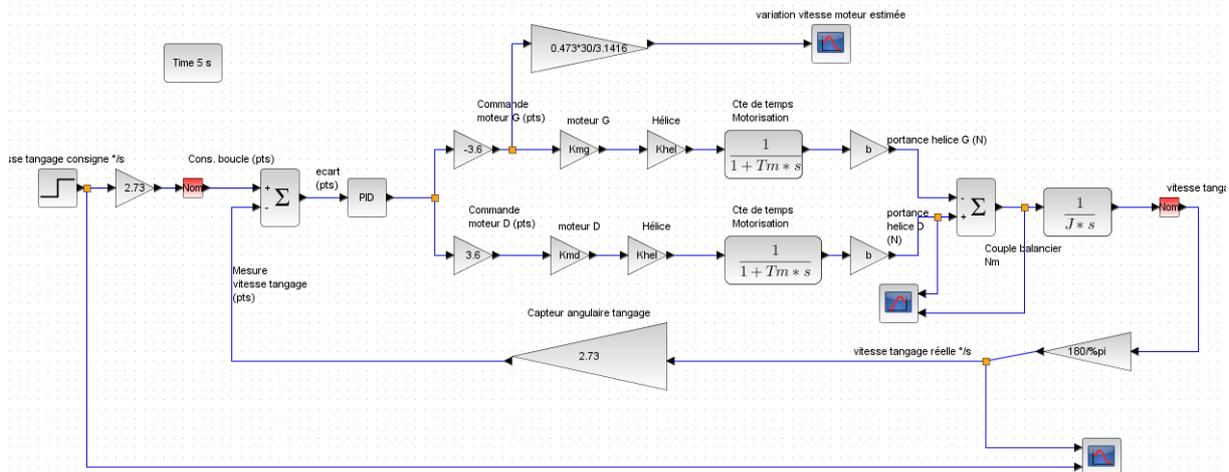
## Travail 4 - Simulation

COPIER LE DOCUMENT SCILAB « Boucle de vitesse drone » DANS UN DOSSIER PERSONNEL.

Ouvrir le logiciel de simulation Scilab 5.5.2.

Ouvrir ensuite votre document Scilab « Boucle de vitesse drone ».

Vous découvrez le schéma bloc ci-dessous.



Pour saisir les valeurs des gains statiques  $K_{md}$  et  $K_{hel}$ , ainsi que la constante de temps  $\tau_m$  : clic droit sur l'arrière-plan du schéma, puis choisir *modifier le contexte*. Saisir les trois valeurs nécessaires.

Le gain du capteur de vitesse de tangage est 2,73 points/(°/s). Le saisir dans le bloc.

Lancer la simulation pour une consigne de 10°/s (saisir cette consigne).

Conclure sur les points suivant :

- Stabilité
- Précision : erreur statique  $\varepsilon_s$
- Rapidité : temps de réponse à 5%,  $Tr_{5\%}$
- Amortissement : 1<sup>er</sup> dépassement relatif  $Dr_{1\%}$

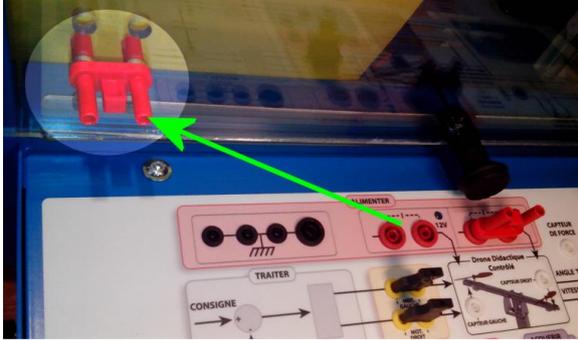
**FIN DE L'ACTIVITÉ**

## Annexe 2 : condition de l'expérimentation pour pilotage manuel

### Conditions d'expérimentation

#### Conditions d'expérimentation « pupitre » et « système »

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



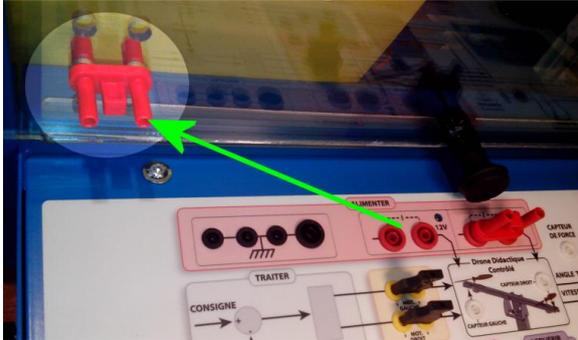
- bouton « commande bloqueur » sur « tangage libre » ;
- bouton « PC/MANU » sur MANU
- bouton BO/BF sur « Boucle Fermée » ;
- deux boutons de commande moteur gauche et droit à 0%.

## Annexe 3 : condition de l'expérimentation pour identifier la motorisation

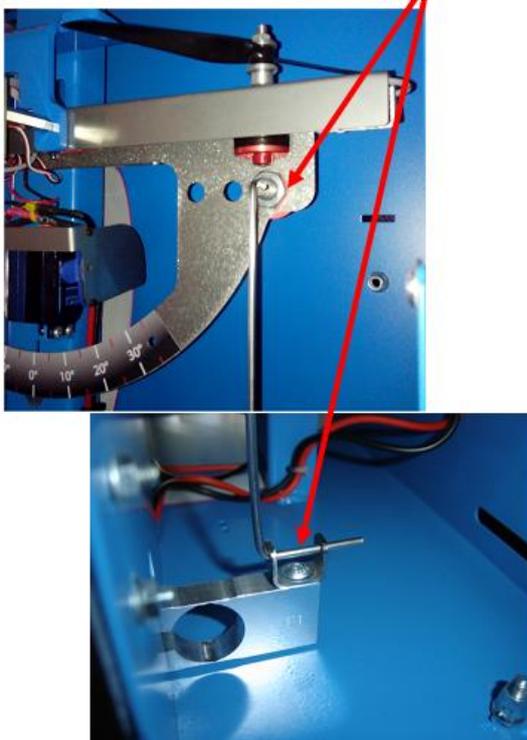
### Conditions d'expérimentation

#### 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.**



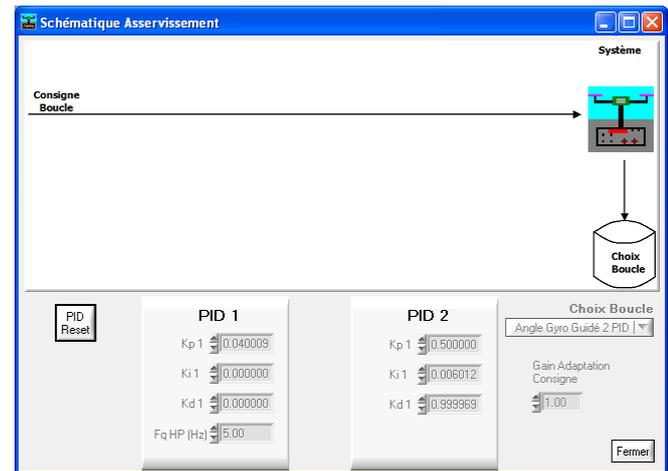
- bouton « commande bloqueur » sur « tangage libre » ;
- bouton « PC/MANU » sur PC
- **bouton BO/BF sur « Boucle Ouverte » ;**
- potentiomètre « Moteur Gauche » en position gauche (0%) ;
- potentiomètre « Moteur Droit » en position gauche (0%) ;
- **tige de transfert d'effort en place :**



#### b) Conditions d'expérimentation « choix boucle »



: boucle « ouverte » activée par le bouton du pupitre



#### c) Conditions d'expérimentation : « affichage »

(cliquer sur « commandes » si pas d'accès direct)  
 monitorer : « **Commande moteur droit en nb de points** », « **vitesse moteur tr/min droit** »



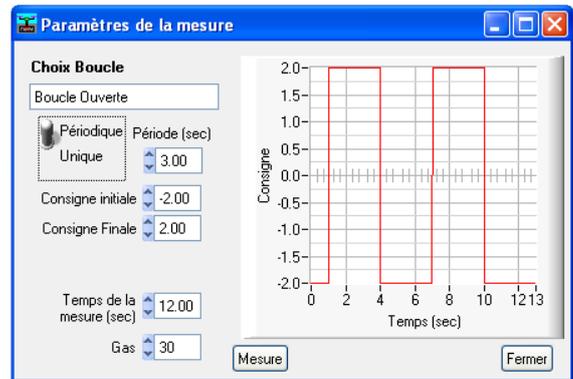
#### d) Condition d'expérimentation : « consignes »

- Porte fermée pour autoriser la rotation du moteur.



- échelon
- périodique 3s ; temps de la mesure 12s ;
- point de fonctionnement des moteurs : Gaz à 30 (%)
- **consigne choisie [-10% ; +10%]**

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 » :



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