

## 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



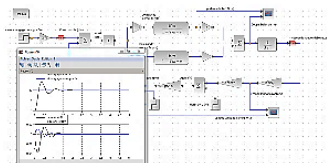
Système en situation d'usage

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 suivantes (attention : ces notions doivent être revues avant la séance de TP !)



- Fonction de transfert du 1<sup>er</sup> ordre : généralités
- Fonction de transfert du 1<sup>er</sup> ordre : comment identifier son gain statique et sa constante de temps à partir de sa réponse à un échelon (=réponse indicielle) ?
- Performance des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité, amortissement...
- ... et leur critère de quantification : erreur statique, temps de réponse à 5%, 1<sup>er</sup> dépassement relatif.

## Vous disposez

- Du sujet
- Des documents numériques : feuille de calcul « Excel » et modèle causal schéma bloc Scilab/Xcos.
- Tachymètre optique



## Vous devez rendre

- Rédaction sur cahier de TP

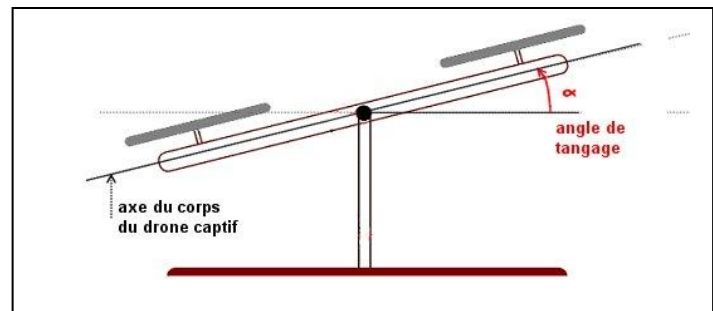


## Contexte de l'étude : pourquoi une boucle de vitesse ?

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.

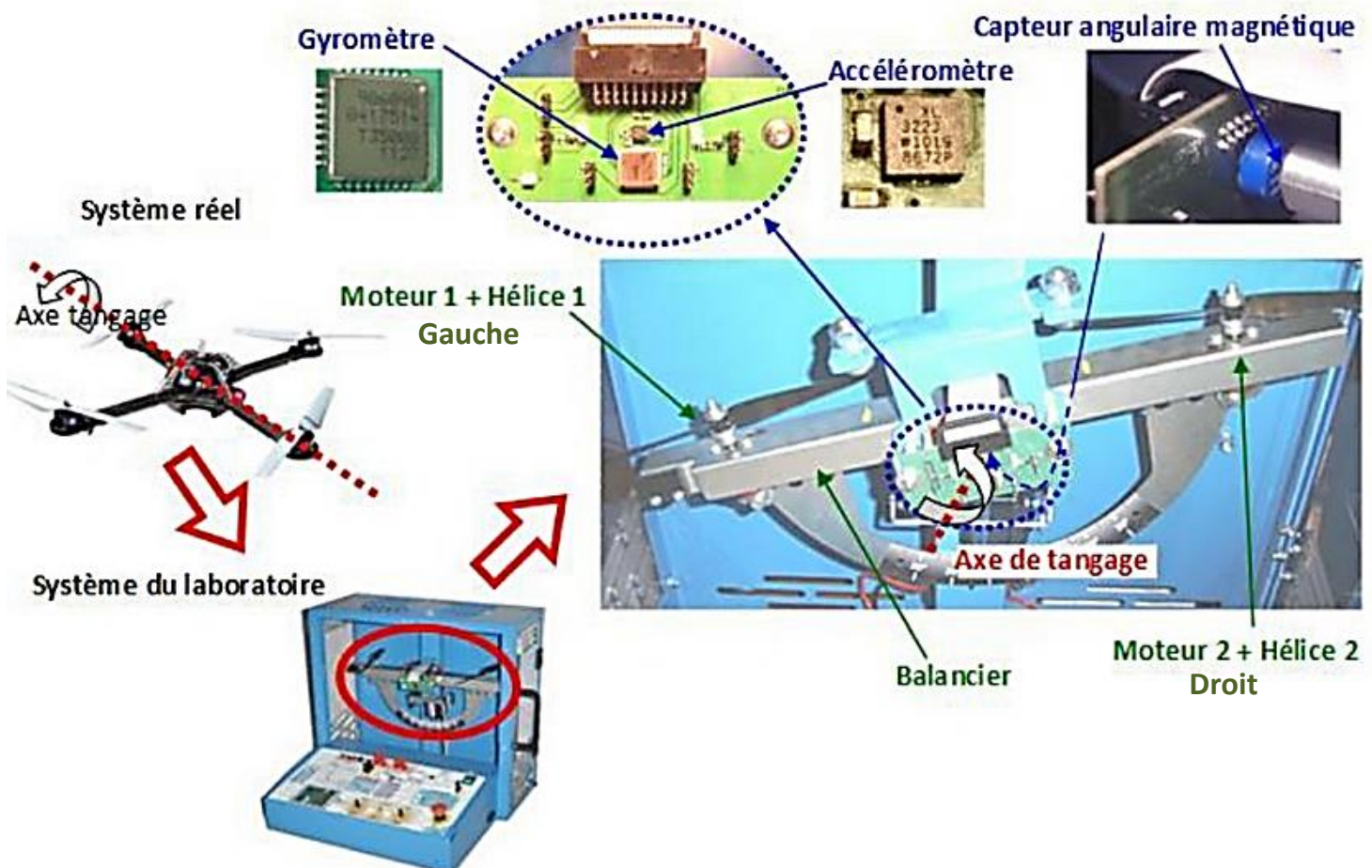
Pour pouvoir réaliser un vol en translation, le drone doit pouvoir être placé dans une position inclinée vers l'avant.

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)

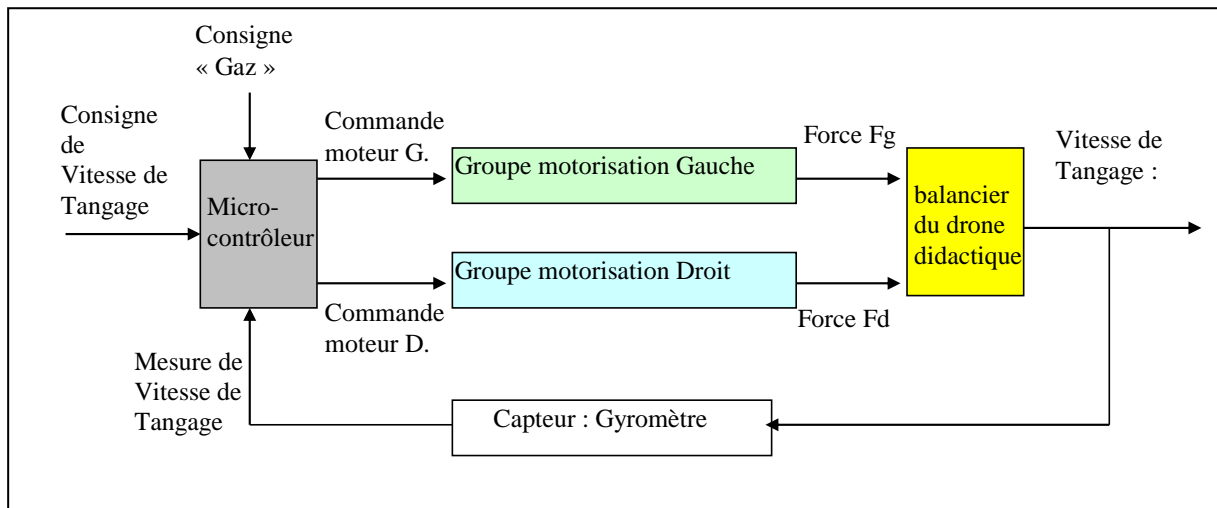


Nous verrons que la boucle de vitesse interne à la boucle de position, permet d'améliorer les performances de la boucle de position. Le travail proposé porte sur le réglage expérimental de cette boucle de vitesse, et sur la « commande en vitesse angulaire » du drone

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



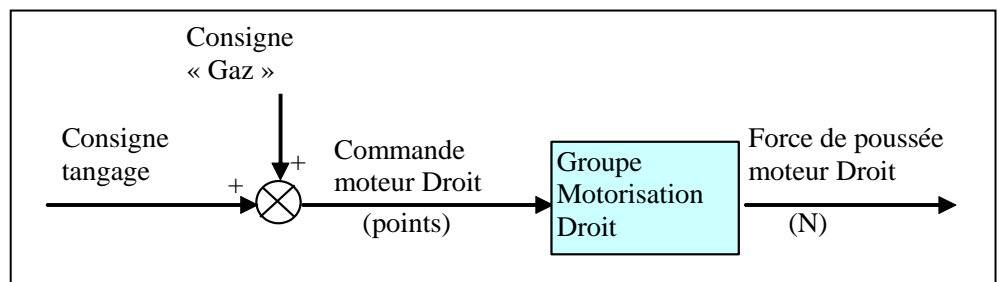
**Le schéma-bloc ci-dessous** présente globalement la boucle d'asservissement autour du microcontrôleur de la « carte pupitre », dans le cas d'une commande « en vitesse ».



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

Physiquement les moteurs sont pilotés avec une tension (Volts). Cette tension n'est pas accessible sur ce système donc non mesurable. La commande en nbr de points est l'image proportionnelle de la tension d'alimentation moteur.

## 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.

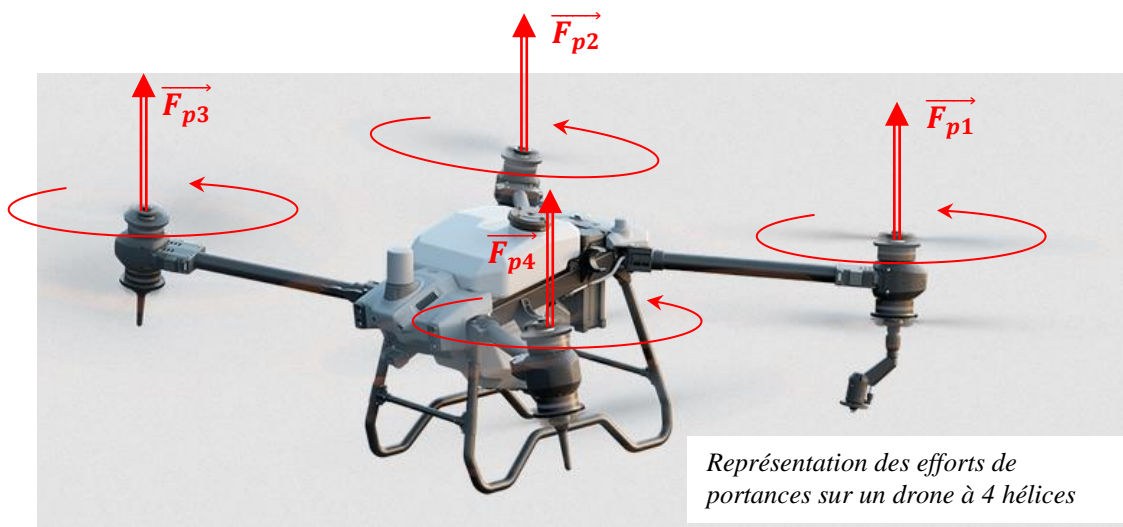
Reportez-vous à l'**annexe 2** pour configurer le système.

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

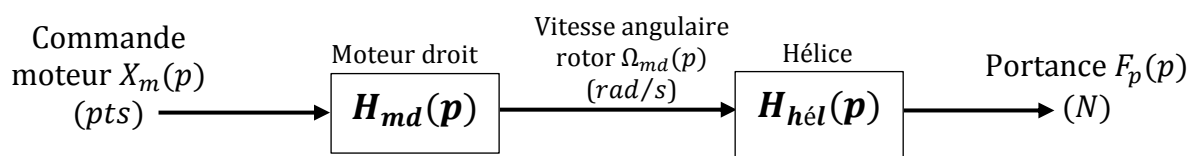
## Travail 2 – Modèle de comportement de la motorisation seule : gains statiques

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 cherche dans un premier temps le gain statique du moteur électrique :

$$K_{md} = \frac{\Omega_{md}(\text{atteint})}{X_{m0}} \quad (\text{le calcul de la constante de temps se fera dans le travail 3 suivant})$$

On cherche le gain de l'hélice:

$$H_{hel}(p) = K_{hél} = \frac{F_p(\text{atteint})}{\Omega_{md0}} \quad (\text{fonction de transfert proportionnelle de type gain.}$$

Constante de temps nulle).



Votre objectif dans ce travail 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 « *mesures - gain moteur - loi de portance* » DANS UN REPERTOIRE PERSONNEL.

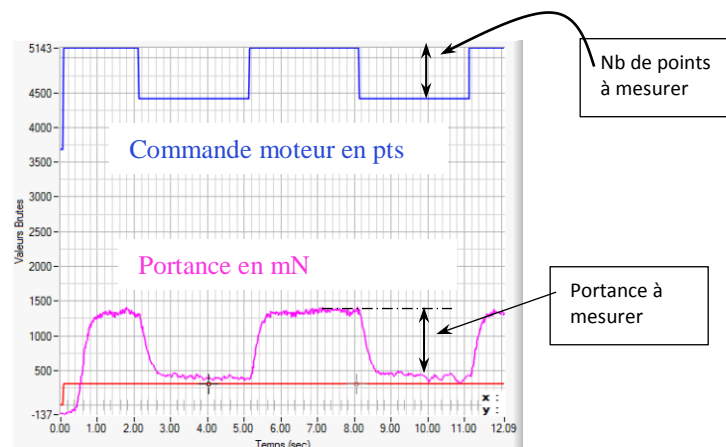
Ouvrez ensuite cette feuille de calcul. Ne pas modifier l'original !

Faites les mesures nécessaires en tournant le bouton de commande moteur droit. A chaque mesure vous relevez la commande moteur droit (nb de point), la vitesse moteur droit (tr/min), l'effort de portance en mN (milliNewton).

La mesure de vitesse se fait avec le tachymètre optique :



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 nulles.



### Détermination de $K_{md}$

Quelle est l'unité de  $K_{md}$  ?

Après saisie des valeurs dans le tableau du document « *mesures - gain moteur - loi de portance* », la loi apparaît sous forme graphique : déduire le gain  $K_{md}$ .

### Détermination de $K_{hél}$

Quelle est l'unité de  $K_{hél}$  ?

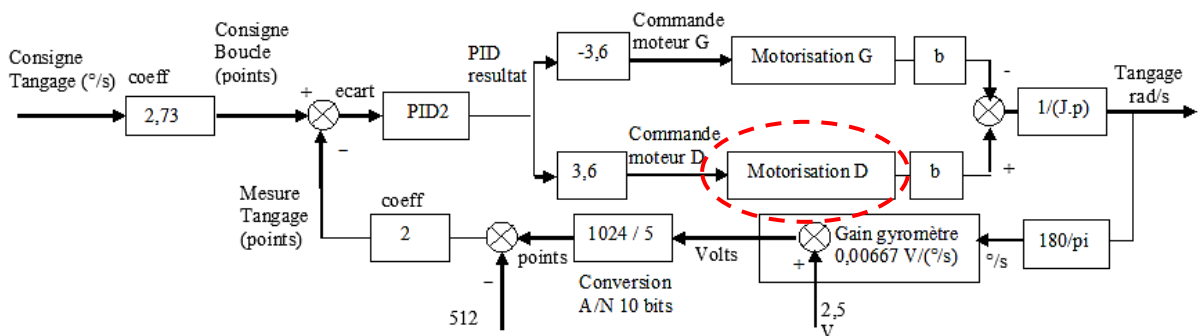
Après saisie des valeurs dans le tableau du document « mesures - gain moteur - loi de portance », la loi apparaît sous forme graphique : observer le nuage de points : qu'est ce qui est contraire à l'hypothèse d'étude des Systèmes Linéaires Continus Invariants (SLCI) ?

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.

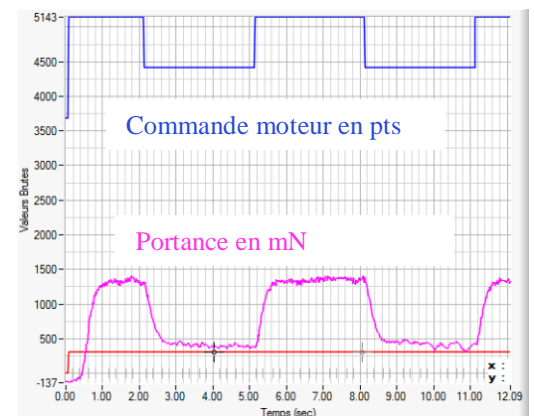
Déduire le gain  $K_{hél}$  pour une vitesse du rotor de 4000 tr/min. Le gain que vous venez de déterminer sera valable dans une plage restreinte autour de 4000 tr/min.



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

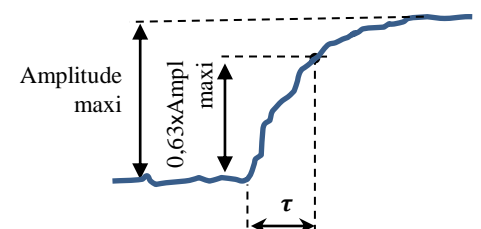
#### Constante de temps de la motorisation $\tau_m$

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.

**Conclure** : écrire la fonction de transfert de chaque bloc  $H_{md}(p)$  et  $H_{hél}(p)$ .

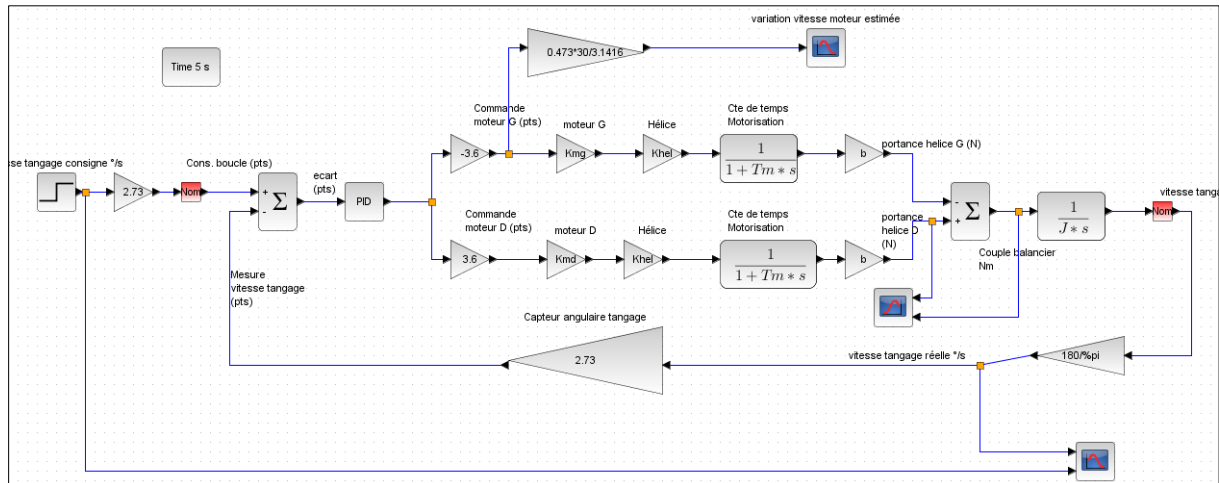
## Travail 4 - Simulation

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

Ouvrir le logiciel de simulation Scilab 5.5.2. uniquement à partir du dossier « logiciels mathématique » sur le Bureau PC et pas en faisant une recherche Windows.

Ouvrir ensuite votre document Scilab/Xcos « 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**

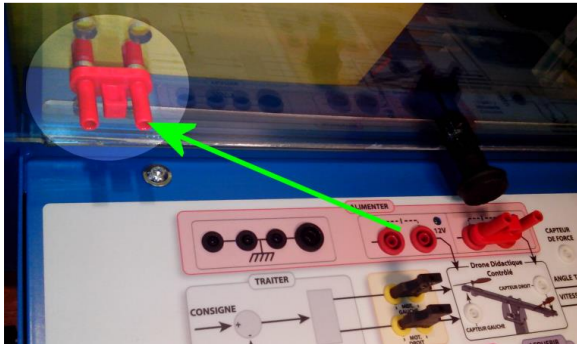


## Annexe 2 : condition de l'expérimentation pour pilotage manuel

### 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.
- **Les 2 cavaliers rouges alim moteur gauche et droit en place (« branchés » donc)**



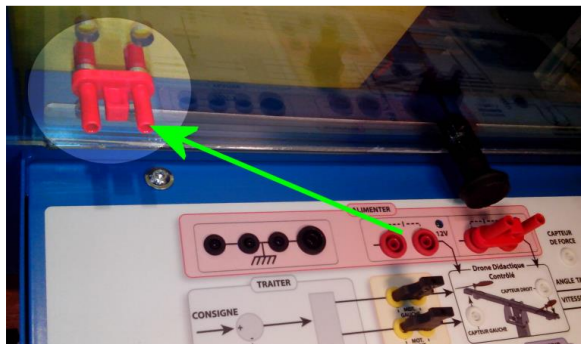
- bouton « commande bloqueur » sur « tangage libre » ;
- bouton « PC/MANU » sur MANU
- **bouton BO/BF sur « Boucle Ouverte » ;**
- **deux boutons de commande moteur gauche et droit à 0%.**

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

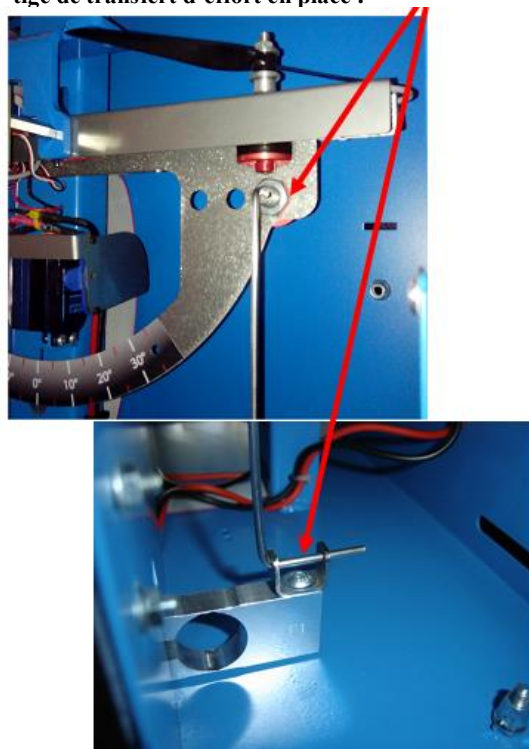
### Conditions d'expérimentation

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

Comme précédemment mais ôtez le cavalier rouge moteur gauche



- tige de transfert d'effort en place :

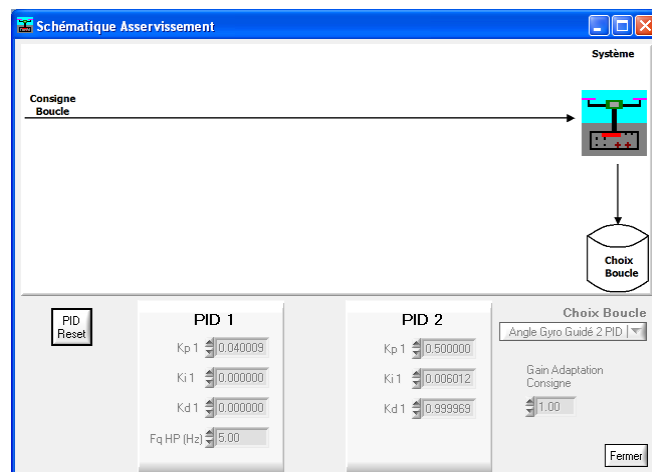


#### b) Conditions d'expérimentation « choix boucle »

Lancement application PC/connexion pour acquisition :



: boucle « ouverte » activée par le bouton du pupitre



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

(cliquer sur « commandes » si pas d'accès direct)  
moniteur : « Commande moteur droit en nb de points »,  
« Portance en mN »

