Travaux Pratiques - ASSERVISSEMENT
Robot Jockey

Objectifs du TP

Modéliser le comportement du robot Jockey et valider ce modèle par comparaison des performances simulées et des performances définies par le cahier des charges. Etudier l'influence de différents correcteurs sur les performances du système.

1 – Mise en situation et description

Les courses de dromadaire sont très populaires aux Emirats Arabes Unis et spécialement au Qatar. Ne pouvant supporter une charge en course de plus de 40 Kg, les dromadaires étaient traditionnellement montrés par de jeunes enfants venus du Pakistan, le plus souvent victimes de trafic. Sous la pression de la Ligue Internationale des Droits des Enfants, le gouvernement du Qatar décida d'interdire les jockeys humains au profit de jockeys humanoïdes et confia à une société d'ingénierie le soin de proposer une solution alternative.

Le jockey humanoïde, qui est composé essentiellement deux bras et un tronc, est sanglé sur le dos du dromadaire. Un premier bras (objet de l'étude et placé à droite) est équipé d'une baguette permettant de cravacher l'animal. Un second bras (non présent sur le système étudié et placé à gauche) permet d'agir sur les rennes.

Le pilote assis dans un 4x4 roulant en bordure de l'hippodrome, commande, en fonction du déroulement de la course, les deux bras du robot grâce à une télécommande. Il lui est possible d'alterner le Raali et la frappe en faisant varier pour chacun des deux modes, l'intensité la fréquence ou bien encore l'amplitude.

Le système présent dans le laboratoire est le bras de robot anthropomorphique réel « instrumenté », pilotable et configurable.

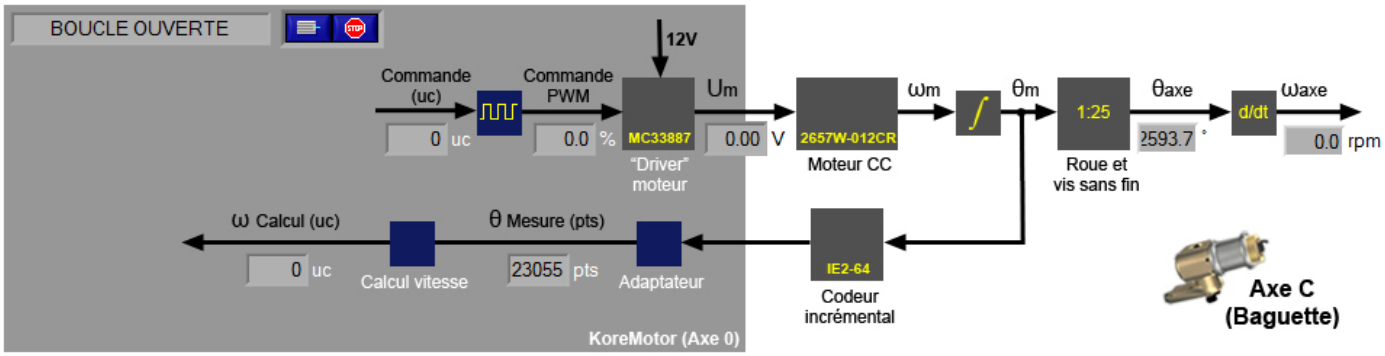
On donne ci-dessous un extrait du cahier des charges fonctionnel donne les caractéristiques suivantes (le cahier des charges complet est disponible dans le **DOSSIER RESSOURCES**) :

FONCTION	Définition	Critères	Niveau	Flexibilité
FP1	DIRIGER (frappes)	- amplitude du mouvement - fréquence des frappes - intensité des frappes - trois zones de frappes	- réglage, position de départ précise - réglage (1 à 3 Hz) - réglable, inférieur à 50N -surface de frappe 25 cm²	+/- 2° +/-5% +/-5% +/-5cm²
FP2	STIMULER (raali)	- fréquence de rotation baguette - plan d'évolution de la baguette	- réglable (100 à 180 tr/min) - erreur d'inclinaison du poignet inférieure à 2°	+/-2tr/min +/-1°

2 – Modélisation de la commande de mouvement de Raali

On cherche à valider un modèle de connaissance de la commande de l'axe 'C Baguette' lors du mouvement de Raali.

Le schéma-bloc modélisant la commande de l'axe 'C Baguette' pour le mouvement prédéfini de Raali est donné ci-après.



Pour la suite de cette étude, on supposera que la fréquence d'échantillonnage est suffisamment grande pour que toutes les variables analysées puissent être considérées comme continues.

Le modèle de commande de l'axe 'C Baguette' lors du mouvement de Raali est qualifié de « Commande en Boucle Ouverte BO ».

A la vue du schéma-bloc précédent, justifier en quelques lignes cette assertion. Indiquer la signification des variables $U_m, \theta_m, \theta_{axe}, \omega_{axe}$.

Identification des fonctions de transfert

A partir de certains essais, certaines mesures externes sur le bras robot Jockey et en interprétant correctement les évolutions temporelles tracées, on cherche à compléter ce modèle de commande.

Détermination du rapport de réduction

Dans un premier temps, on cherche à identifier la valeur du rapport de réduction de la chaîne de puissance de l'axe 'C Baguette'.

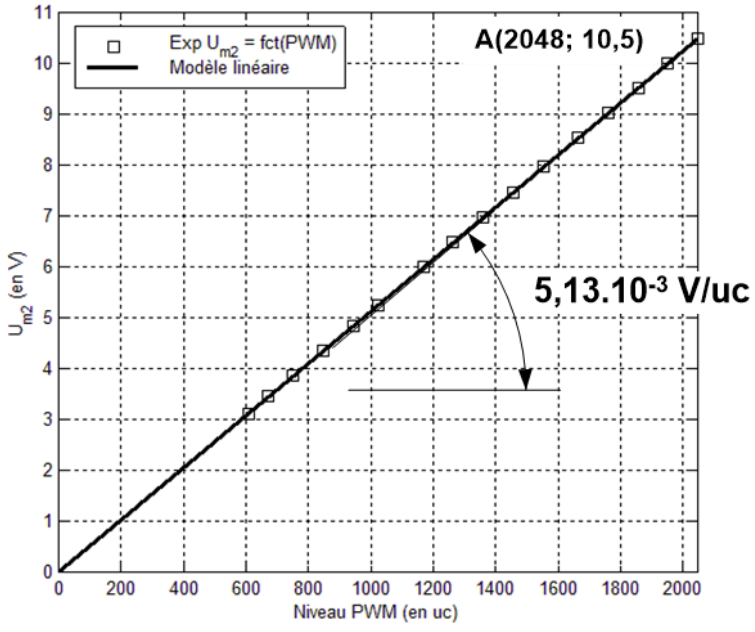
Mettre en place un protocole expérimental permettant de déterminer le rapport de réduction de l'axe C.

Remarque : Il est possible d'utiliser un tachymètre (embout de contact conique) à placer directement en sortie sur l'axe 'C Baguette' lors du mouvement de Raali.

Comparer la valeur trouvée expérimentalement à celle fournie par le constructeur dans le **DOSSIER TECHNIQUE**. Justifier les écarts éventuels.

Tension de commande appliquée aux bornes du moteur M2

Un voltmètre est branché sur le pupitre de commande du bras robot Jockey (bornes du moteur M2 axe C). Il permet de visualiser la tension de commande U_{m2} (en V). Un mouvement de Raali est lancé. La valeur de la tension U_{m2} en régime stationnaire est tracée en fonction du niveau de la commande PWM (en uc).



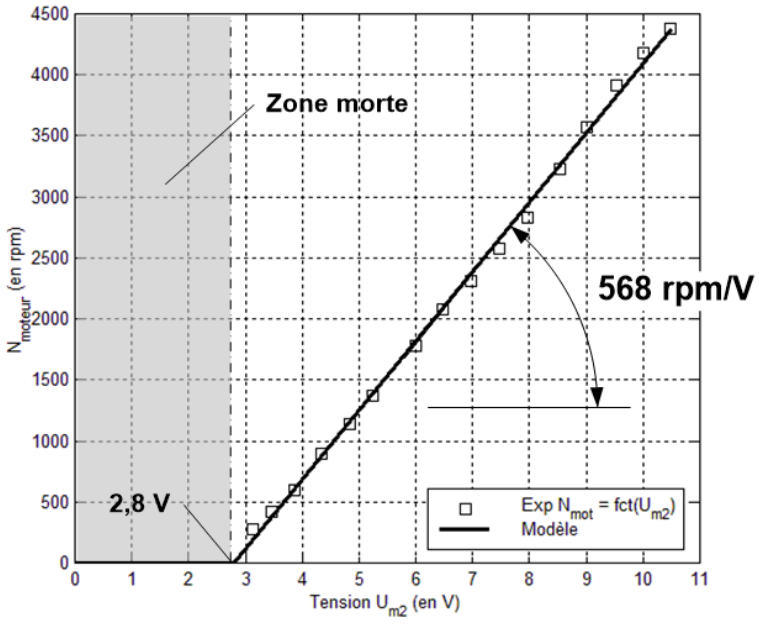
Commenter la courbe obtenue et définir la plage de variation observée.

Remarque : La tension maximale admissible est de 12 V.

Atteint-on cette valeur pour une commande PWM réglée à 2048 ? Si non, pour quelle raison ?

Peut-on qualifier la commande PWM de linéaire ? En déduire la valeur du coefficient de proportionnalité.

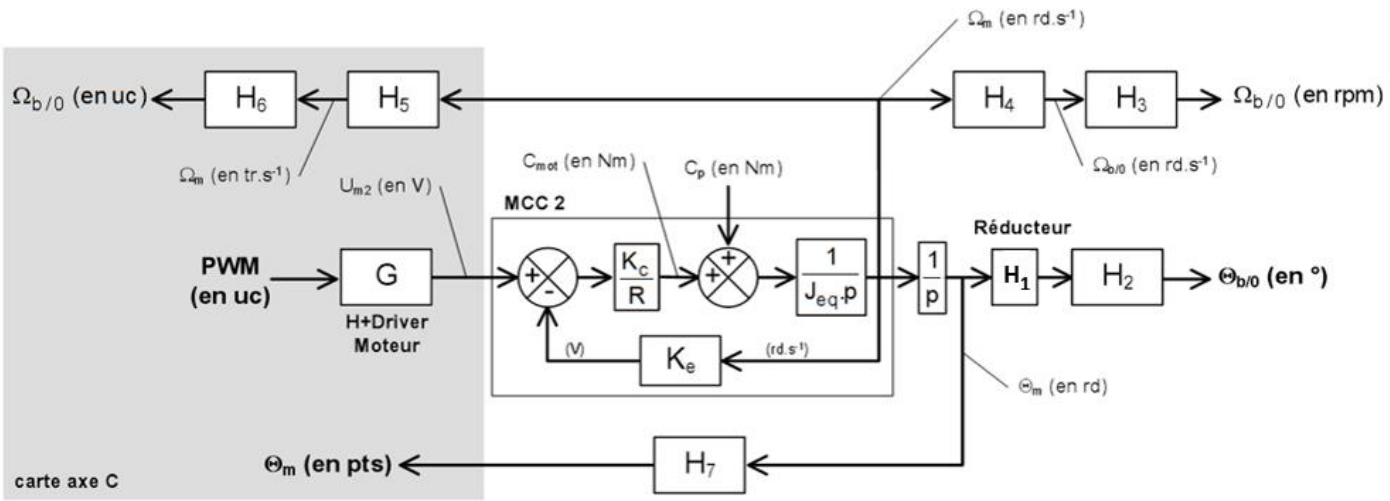
La valeur finale de N_{mot} (en rpm) pour différents niveaux de PWM et donc différentes valeurs de tension de commande U_{m2} permet de tracer la courbe suivante :



Peut-on qualifier la commande PWM de linéaire ? Justifier expérimentalement la réponse.

En conclusion, donner la fonction de transfert associée au bloc « Driver moteur » (gain G) et la tension de seuil.

En utilisant la partie « *DETAILS DU MENU 'UNITES UTILISATEURS'* » du **DOSSIER RESSOURCES**, déterminer les fonctions de transfert H_1 à H_6 manquantes dans le schéma bloc suivant.



Détermination de la fonction de transfert du Moteur 2

Réaliser un protocole expérimental permettant de déterminer le gain du moteur noté K_m et la constante de temps du moteur notée τ_m.

Remarque : Il est possible d'utiliser la notice pour solliciter l'axe de la baguette (Axe C) dans le **DOSSIER RESSOURCES**.

Relier, en utilisant les équations du MMC (voir **DOSSIER RESSOURCES**) et des hypothèses simplificatrices à indiquer, les constantes du moteur aux grandeurs K_m et τ_m.

Vérifier les valeurs de K_m et τ_m en utilisant les données constructeurs (**DOSSIER TECHNIQUE**).

Evaluer (en justifiant vos calculs) l'inertie équivalente ramenée sur l'axe moteur notée J_{eq}.

Validation du modèle

Compléter le modèle Scilab (*JOCKEY_AXE_BAGUETTE_BO_modele_scilab_ELEVES.zcos*) avec les fonctions de transfert et valeurs trouvées précédemment.

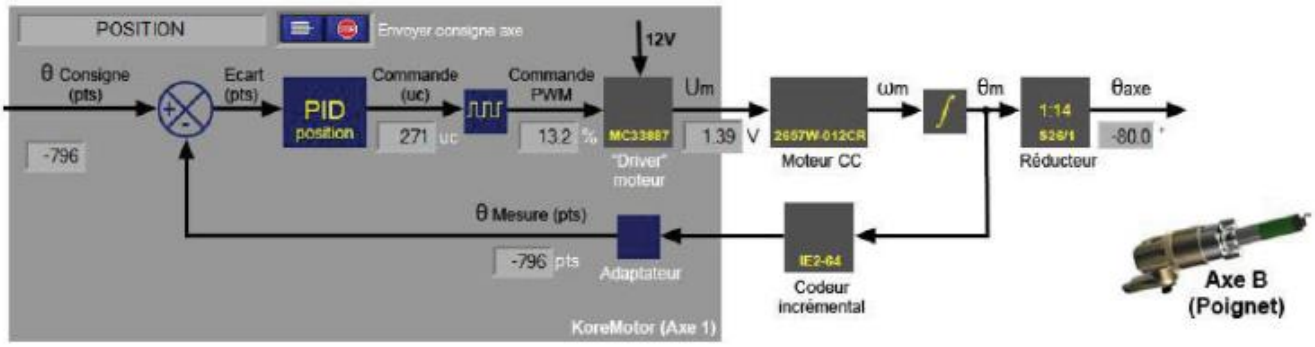
Remarque : Penser à modifier les valeurs des constantes dans le menu « Simulation » puis « Modifier le contexte ».

Lancer une simulation pour une entrée en échelon de 2048 uc. Commenter la courbe obtenue.

Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab. Commenter et expliquer les différences observées ?

3 - Modélisation de la commande en position de l'axe du poignet (Axe B)

La commande en position de l'axe du poignet 'Axe B' est modélisée par le schéma-bloc suivant :



Pour la suite de cette étude, on supposera que la fréquence d'échantillonnage est suffisamment grande pour que toutes les variables analysées puissent être considérées comme continues.

Dans quel but asservit-on l'axe B en position ?

Le **DOSSIER RESSOURCE** fournit une notice pour solliciter l'axe B et acquérir les données.

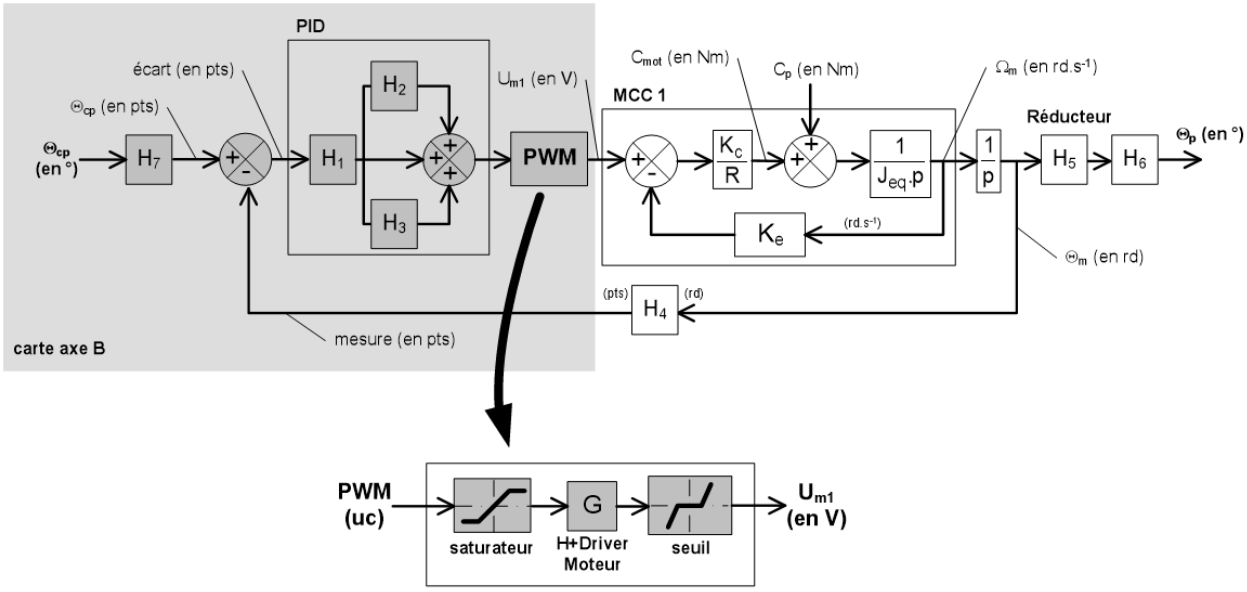
Solliciter le bras par un mouvement de l'axe « B Poignet » tout en observant l'axe « B Poignet » pour un échelon d'amplitude -80 ° (essai personnalisé N°1).

Afficher l'évolution temporelle de l'orientation angulaire de l'axe B ainsi que la commande U_{m1} (en V).

Commenter les courbes obtenues lors de cet essai.

Remarque : Pour les interrogations relatives aux unités d'affichage des courbes, on consultera le **DOSSIER RESSOURCES** qui fournit les « *DETAILS DU MENU 'UNITES UTILISATEURS'* ».

Le schéma-bloc détaillé de la commande en position de l'axe B est donné ci-dessous :



Dans un premier temps, le correcteur PID ne sera pas pris en compte dans la modélisation.

Par un raisonnement similaire à celui réalisé pour le modèle de l'Axe C, déterminer les fonctions de transfert H_4 à H_6.

Compléter le modèle Scilab (*JOCKEY_AXE_POIGNET_BF_modele_scilab_ELEVES.zcos*) avec les fonctions transfert trouvées précédemment et les valeurs caractéristiques du MCC (**DOSSIER TECHNIQUE**).

Remarque : Penser à modifier les valeurs des constantes dans le menu « Simulation » puis « Modifier le contexte ».

Lancer une simulation pour une entrée en échelon de 80°. Commenter la courbe obtenue.

Comparer les résultats expérimentaux aux résultats numériques obtenus avec Scilab. Commenter et expliquer les différences observées ?

4 – Influence d'un correcteur P, PI ou PD

On se propose de régler les paramètres K_p , K_i et K_d , gains proportionnel, intégral et dérivé en s'appuyant sur l'observation de réponses à un échelon de consigne pour obtenir le meilleur compromis entre tous les critères de réglages qui sont :

- la précision statique
- la possibilité de dépassement (lié à la stabilité)
- la rapidité

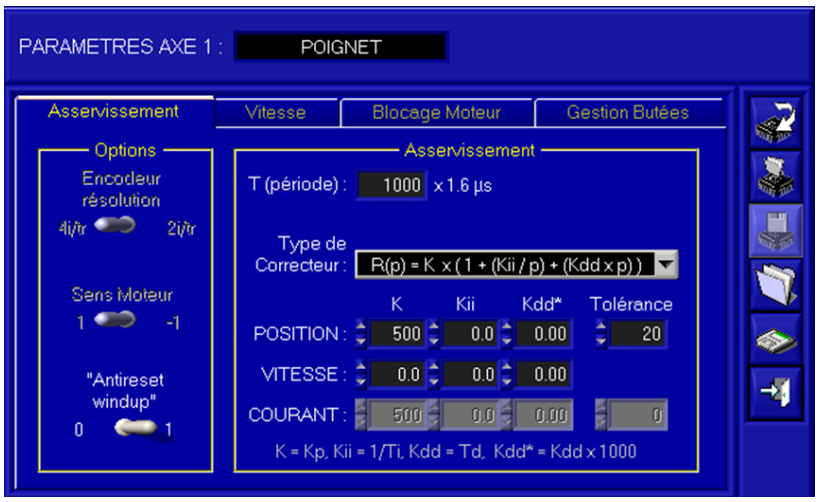
Pour réaliser un plan de réglage sérieux, il faudrait affecter 4 valeurs différentes à chaque paramètre P, I et D : soit un plan de 4^3 mesures (64 mesures).

Pour des raisons de temps disponible, nous allons simplement effectuer 8 mesures. (voir tableau).

Essai	K_p	K_i	K_d
1	500	0	0
2	500	20	0
3	200	20	0
4	500	20	20
5	200	0	20
6	200	0	50
7	200	40	50
8	200	40	20

Essais expérimentaux

Pour modifier les paramètres du correcteur PID, accéder au panneau de réglage du correcteur de l'axe 'B Poignet' du bars robot Jockey soit directement en cliquant sur l'icône PID depuis les courbes, soit à partir de la fenêtre « Acquisition sollicitations » puis choisir Poignet en choix d'axe.



Remarque : Mettre tous les coefficients du correcteur en VITESSE à 0.

Ne pas oublier d'écrire ces nouvelles valeurs dans la carte de pilotage 'KoreMotor' avant de quitter le menu afin qu'elles soient prises en compte pour le prochain essai.

Pour chaque essai expérimental :

- Appliquer un échelon de consigne de 80°.
- Relever l'allure de la courbe de réponse.
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Remarque : Il est possible d'utiliser d'autres valeurs que celles proposées à condition qu'elles soient **inférieures** à celles proposées.

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

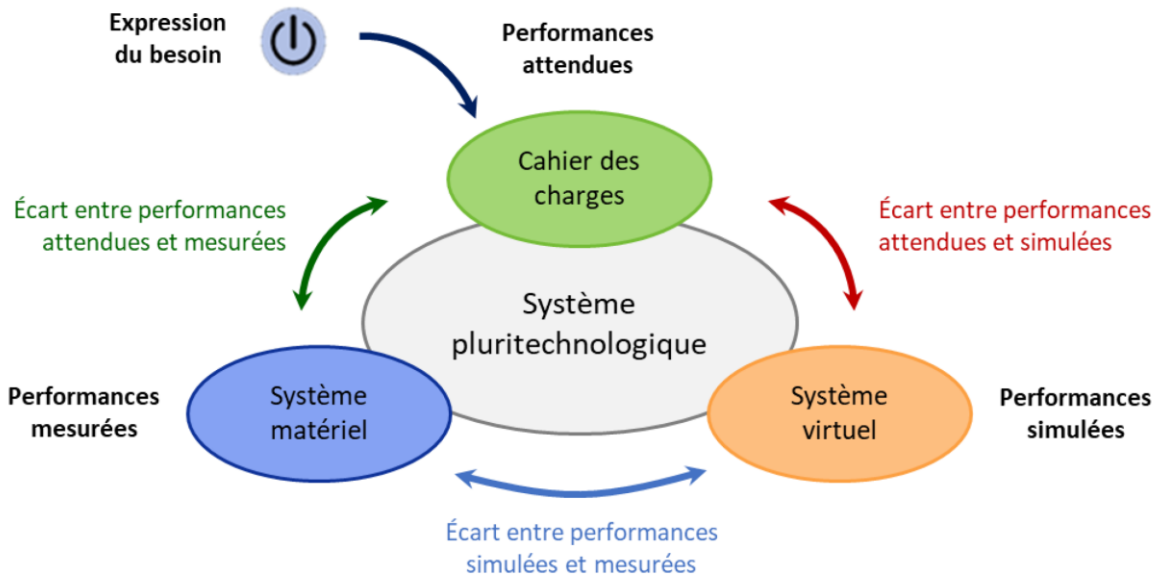
Essais numériques

Pour chaque essai numérique sous Scilab :

- Appliquer un échelon de consigne de 80°.
- Relever l'allure de la courbe de réponse.
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

5 – Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les performances de rapidité, de précision et de stabilité **avec le correcteur Proportionnel Intégral Dérivé**, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

Conclure quant à l'intérêt d'un PID. Sur quels critères de performance chaque partie va-t-elle agir ?