

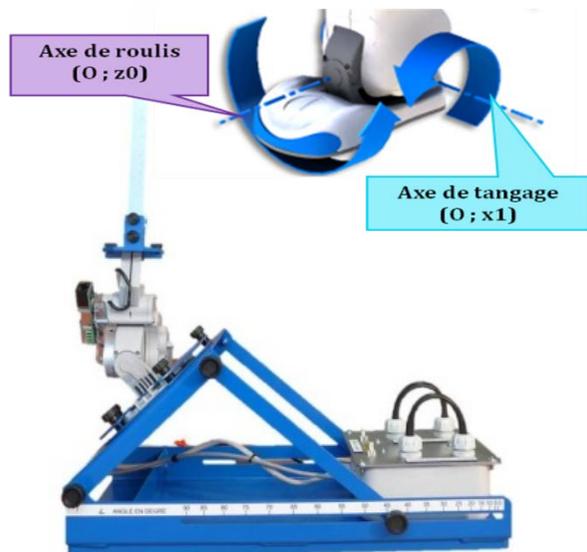
Connaissances	Systèmes asservis
Capacités	Identifier les paramètres à partir d'une réponse indicielle
Activités (1 H)	Mesurer les performances du système asservi Régler les coefficients de correction proportionnelle et intégrale
Ressources documentaires	Aucune
Ressources matérielles	Ensemble cheville didactisé Micro-ordinateur avec logiciel NAO_Ankle_Kit_V2

Ce TP a pour objectif de constater expérimentalement l'influence des corrections proportionnelle et intégrale sur la position du tibia.

1. PRÉSENTATION

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a choisi d'asservir la position des axes de tangage et de roulis de sa cheville.

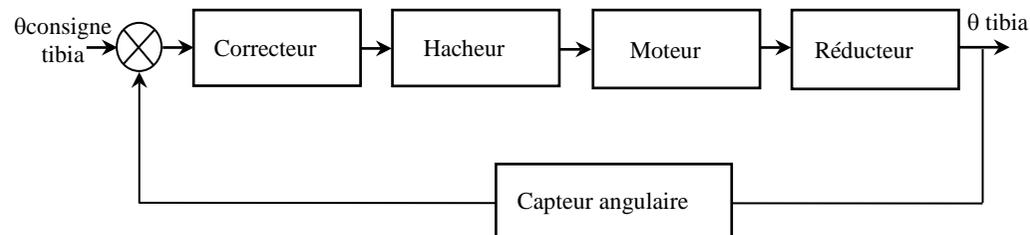
De façon à prédire les performances du mécanisme, nous nous proposons ici de constater expérimentalement l'influence des corrections proportionnelle et intégrale sur l'asservissement de l'axe de tangage du tibia.



2. SCHÉMA BLOC DE L'ASSERVISSEMENT DE L'AXE DE TANGAGE

Sur la cheville de NAO, chaque axe (tangage et roulis) possède deux capteurs de position angulaire : le capteur utilisé normalement dans l'asservissement est celui situé à la sortie du réducteur, coté tibia pour l'axe de tangage. L'autre capteur est situé sur l'axe moteur.

La figure suivante présente le schéma bloc modélisant l'asservissement de l'axe de tangage avec le capteur situé en sortie de réducteur :



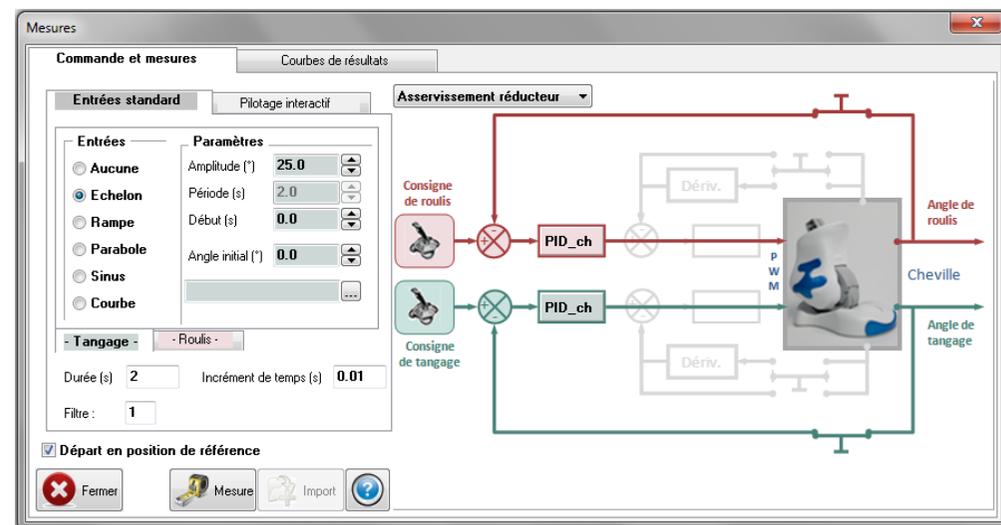
3. INFLUENCE DE LA CORRECTION PROPORTIONNELLE

Pour analyser l'influence de la correction proportionnelle, on observe la réponse du système à une entrée en échelon de position d'amplitude 25° sur l'axe de tangage commandé en boucle fermée avec un coefficient du correcteur proportionnel K_p variable.

3.1. PRISE EN MAIN DE L'ENSEMBLE CHEVILLE

Vérifier que la maquette est alimentée et connectée à l'ordinateur via un port USB. Afin que les câbles n'influent pas sur les mesures, le socle du pied sera monté en position 90°.

☞ Lancer le logiciel de commande et d'affichage *NAO_Ankle_Kit_V2*. Cliquer sur *Réalisation de mesures*. L'écran ci-dessous s'affiche :



3.1.1. APPLICATION DE L'ÉCHELON DE POSITION SUR L'AXE DE TANGAGE

- ☞ Sélectionner l'entrée *Tangage*. Appliquer une entrée en échelon de position d'amplitude 25°, de début = 0 et de durée 1 s.
- ☞ Sélectionner l'entrée *Roulis* Pour que cet axe reste inactif dans toute l'étude, cocher *aucune* dans *Entrées standard*.

3.1.2. RÉGLAGE DU GAIN DU CORRECTEUR PROPORTIONNEL

- ☞ Cliquer sur le correcteur *PID_ch* de l'axe de tangage. Régler le coefficient du correcteur proportionnel *Kp* à 50 (avec *Ki* et *Kd* à 0).

3.1.3. ACQUISITION DE LA POSITION DE L'AXE DE TANGAGE

- ☞ Cliquer sur *mesure* ; l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute. Cliquer sur *import*.
- ☞ Ouvrir la fenêtre *Courbes de résultats* ; Cocher la mesure N° 1. Cliquer sur *ajouter*, puis sélectionner les courbes à afficher :
 - consigne tangage réducteur (*Consigne*) ;
 - angle tangage réducteur (*Angle réducteur*) en fonction du temps.

3.2. MESURES DES PERFORMANCES DU SYSTÈME

- ☞ Identifier, sur la figure 1 (page 3), la courbe correspondant à *Kp* = 50.

3.2.1. PRÉCISION DU SYSTÈME

La précision caractérise l'aptitude d'un système à atteindre la valeur de sortie souhaitée. L'écart (ou erreur) entre la consigne (sortie attendue) et la sortie réelle se caractérise donc de la manière suivante :

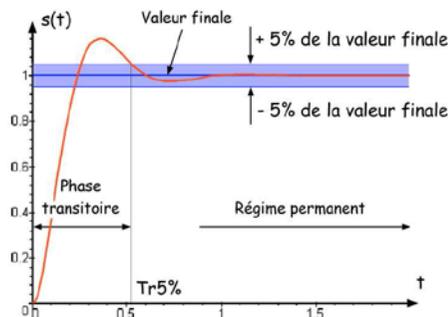
$$\varepsilon(t) = e(t) - s(t)$$

On détermine la valeur de ε_s pour $t \rightarrow \infty$ (régime permanent)

- ☞ Mesurer la valeur finale *vf* (en degrés) atteinte par l'axe de tangage. Calculer l'erreur de position ε_s . Reporter ces valeurs dans le tableau 1.

3.2.2. RAPIDITÉ DU SYSTÈME

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une brusque variation du signal d'entrée. Cependant, la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique, on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$). C'est le temps mis par le système pour atteindre sa valeur de régime permanent à $\pm 5\%$ près et y rester.



- ☞ Mesurer le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$). Reporter cette valeur dans le tableau 1.

3.2.3. DÉPASSEMENT

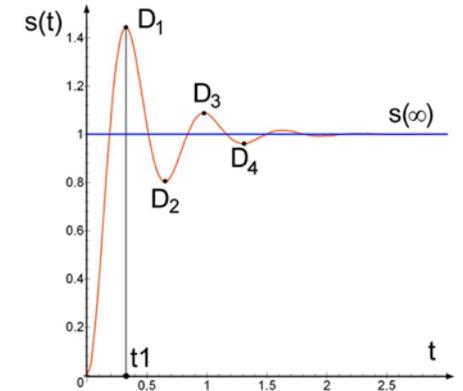
Le taux de dépassement caractérise l'amplitude maximale des oscillations. Pour un système c'est le premier dépassement qui est le plus important. C'est donc celui qui est pris en compte.

On exprime le dépassement en % :

$$DI \% = \frac{s(t1) - s(\infty)}{s(\infty)}$$

Avec :

- *DI* : premier dépassement
- *t1* : instant du premier dépassement
- *s(∞)* : valeur finale de la sortie.



3.3. MODIFICATION DU COEFFICIENT DU CORRECTEUR PROPORTIONNEL

- ☞ Refaire la manipulation avec *Kp* réglé à 100,200, 600 et 1200.

- ☞ Pour chaque valeur de *Kp* :
 - mesurer la valeur finale *vf* (en degrés) atteinte par l'axe de tangage ;
 - calculer l'erreur de position ε_s ;
 - mesurer la valeur du premier dépassement *DI* et exprimer cette valeur en %.
 - mesurer le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$) ;
 - reporter les valeurs dans le tableau 1 (ci-dessous) ;
 - identifier, sur la figure 1 (page 3), la courbe correspondante.

Coefficient de correction proportionnelle <i>Kp</i>	Valeur finale <i>vf</i> (degrés)	Erreur de position ε_s (degrés)	Dépassement <i>DI</i> %	temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$)
50				
100				
200				
600				
1200				

Tableau 1 : performances du système en fonction du coefficient de correction proportionnelle *Kp*

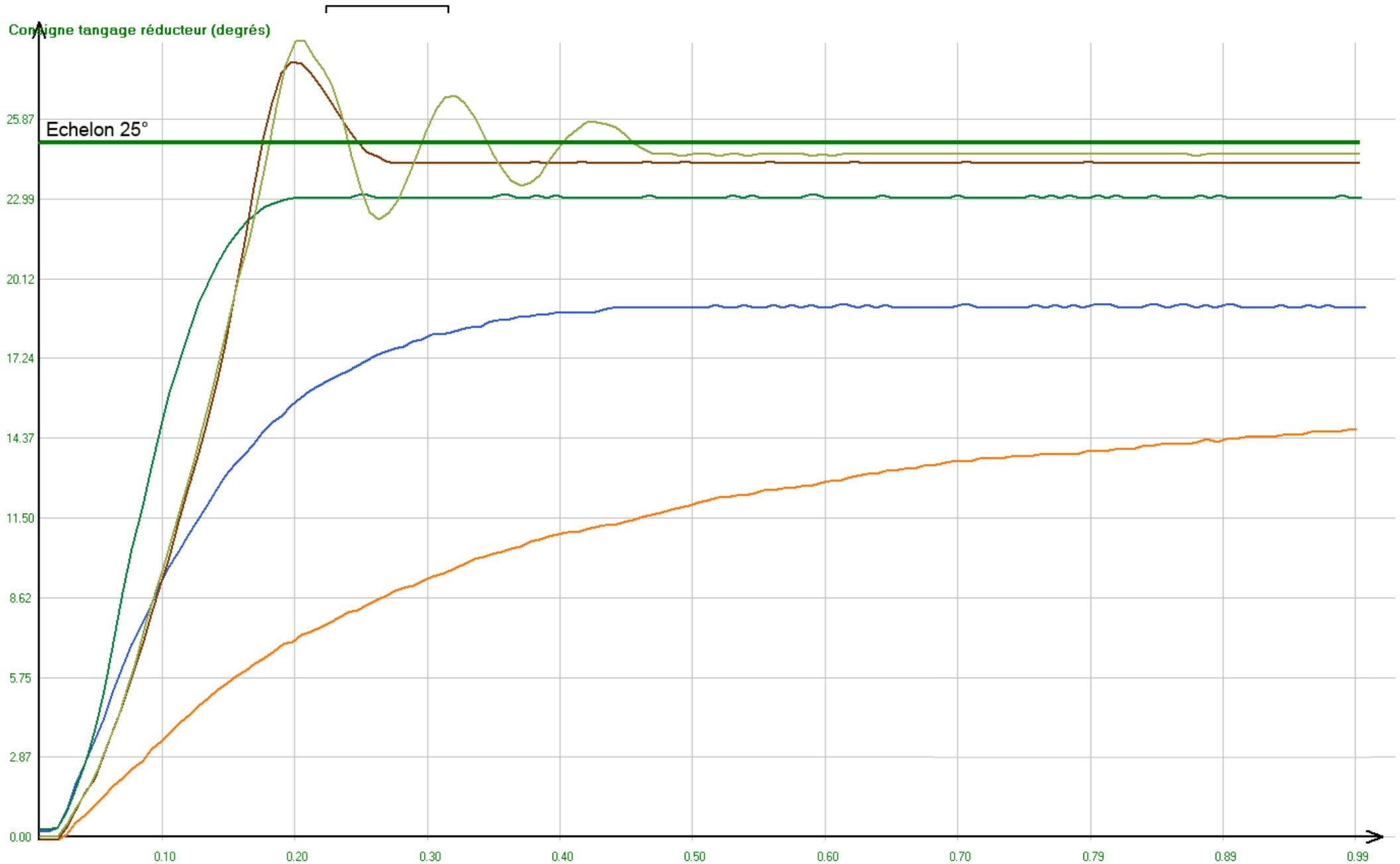


Figure 1 : Réponse du système à une entrée en échelon de position d'amplitude 25°, sur l'axe de tangage commandé en boucle fermée pour différentes valeurs de K_p .

3.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

✍ Lorsque K_p augmente, commenter l'évolution de la rapidité, de la précision et du dépassement :

3.5. OPTIMISATION DU CORRECTEUR PROPORTIONNEL

🔧 Effectuer différents essais et ajuster le coefficient de correction proportionnelle K_p pour que la réponse du système soit la plus rapide sans dépassement de la consigne.

✍ Relever la valeur de K_p réglée. Mesurer la valeur finale v_f . Calculer l'erreur de position ε_S . Mesurer le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$) :

4. INFLUENCE DE LA CORRECTION INTÉGRALE

4.1.1. APPLICATION DE L'ÉCHELON DE POSITION SUR L'AXE DE TANGAGE

🔧 Sélectionner l'entrée *Tangage*. Appliquer une entrée en échelon de position d'amplitude 25° , Régler la durée de l'échelon à 10s.

4.1.2. RÉGLAGE DU GAIN DU CORRECTEUR INTÉGRAL

K_p conserve la valeur réglée au paragraphe précédent et K_d vaut 0.

🔧 Cliquer sur le correcteur *PID_ch* de l'axe de tangage. Régler le coefficient du correcteur intégral K_i à 700.

✍ Pour cette valeur de K_i :

- mesurer la valeur finale v_f (en degrés) atteinte par l'axe de tangage ;
- calculer l'erreur de position ε_S ;
- mesurer la valeur du premier dépassement DI et exprimer cette valeur en %.
- mesurer le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$) ;
- reporter les valeurs dans le tableau 2 (ci-contre) ;

🔧 Refaire la manipulation avec K_i réglé à 1200 et 1500.

Coefficient de correction proportionnelle K_i	Valeur finale v_f (degrés)	Erreur de position ε_S (degrés)	Dépassement DI %	temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$)
700				
1200				
1500				

Tableau 2 : performances du système en fonction du coefficient de correction intégrale K_i

4.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

✍ Lorsque K_i augmente, commenter l'évolution de la rapidité, de la précision et du dépassement :

4.3. OPTIMISATION DU CORRECTEUR INTÉGRAL

🔧 Effectuer différents essais et ajuster le coefficient de correction proportionnelle K_i pour que la réponse du système soit la plus rapide sans dépassement de la consigne.

✍ Relever la valeur de K_i réglée. Mesurer le temps de réponse à 5% ($T_{R5\%}$) :
