

Support technologique : Cheville de robot ludique NAO

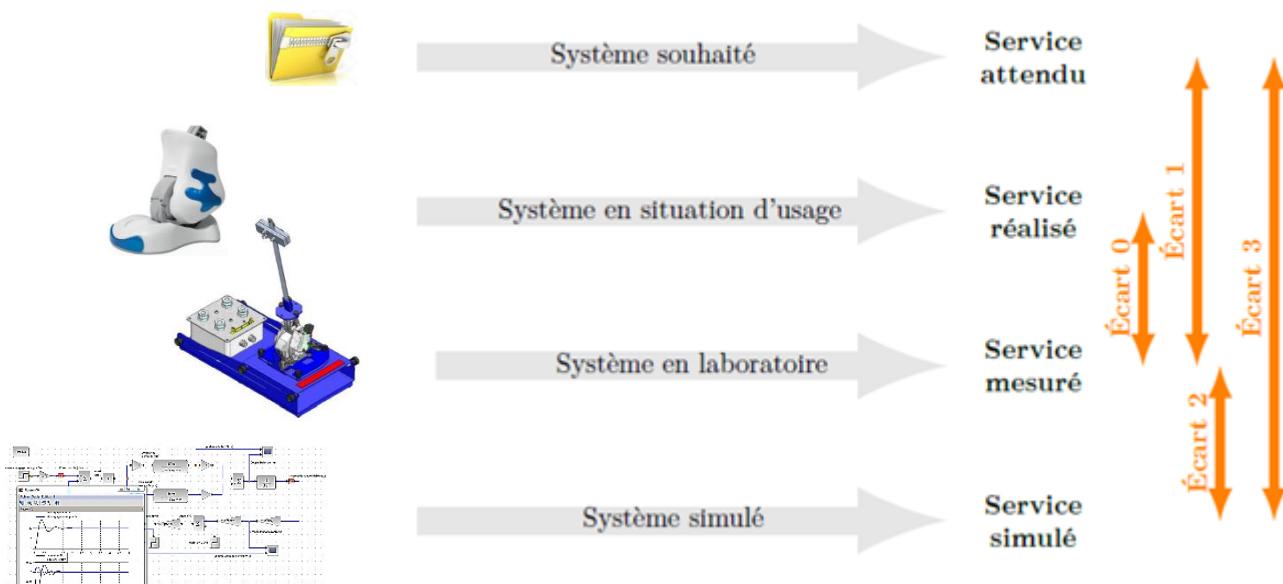
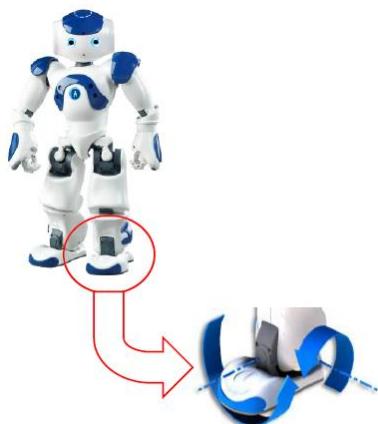
Objectif :

Etudier l'influence d'un correcteur proportionnel sur la réponse temporelle d'un système asservi

Etudier l'influence d'un correcteur proportionnel intégral

Faire la synthèse du point de vue de la stabilité, précision (erreur statique), la rapidité (Temps de réponse), l'amortissement (Dépassemement relatif)

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



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

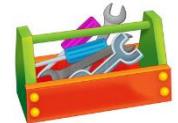
- Lire tout le sujet
- Partie **1** à faire : devra être montrée au professeur dès le début de la séance de TP. Ne doit pas être abordée pendant la séance de TP.



Revoir (ou voir) les notions suivantes

- Critères de performance des SLCI : Erreur statique ε_s , $Tr_{5\%}$, D_{r1}
- Influence de la variation du gain K_p d'un correcteur proportionnel sur la réponse temporelle d'un système bouclé
- Utilisation d'un correcteur proportionnel intégral : Influence du gain intégral K_i sur la réponse temporelle

Vous disposez



- Du sujet
- Du modèle simulé causal Scilab/Xcos (« NAO BF avec MCC 2eO eleve »).

Vous devez rendre

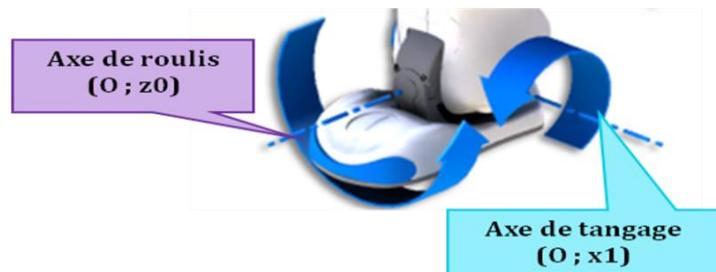


- Résultats à rédiger sur votre cahier de TP.

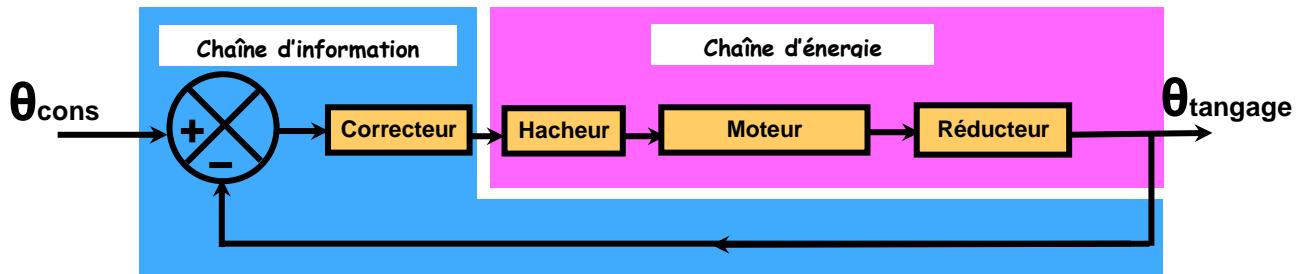
Contexte de l'étude

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.

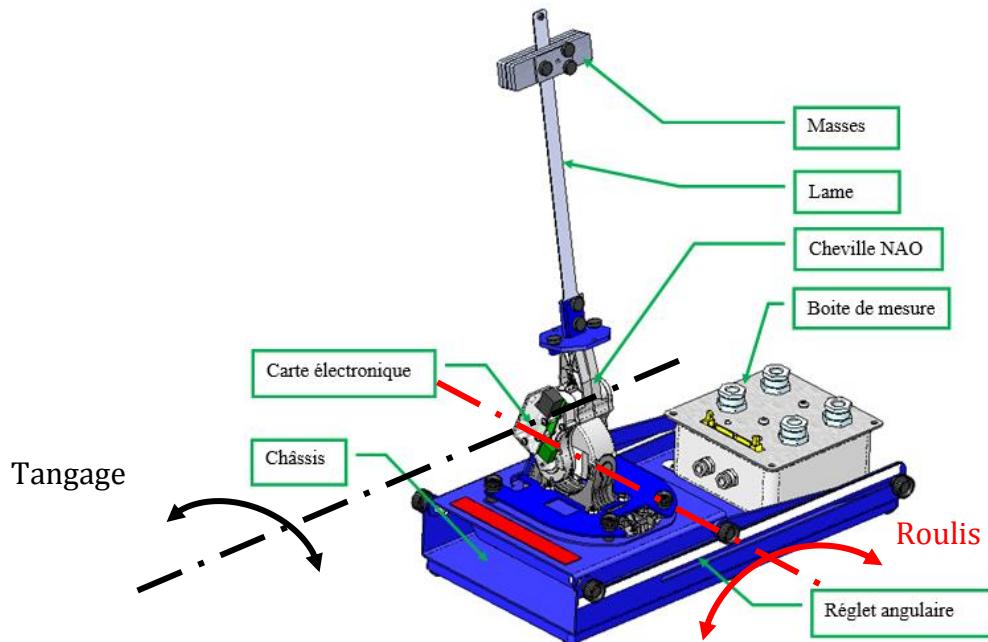
De façon à prédire les performances de l'asservissement, nous nous proposons ici de constater expérimentalement l'influence des corrections proportionnelle et intégrale.



La structure asservie de l'axe de tangage de la cheville de NAO est représenté ci-dessous.



Nous n'étudierons que les mouvements de tangage. L'axe de roulis sera bloqué.



PARTIE 1 : PRELIMINAIRE THEORIQUE

Cette partie se fait individuellement. Elle ne nécessite pas de matériel. Elle a été préparée avant la séance de TP... chez soi. Elle doit être rendue rédigée sur votre compte rendu avant la séance.

Q0. La constante de force électromotrice, K_e , des moteurs électrique de la cheville NAO est donnée par leur fabricant de cette manière (copie d'écran) :

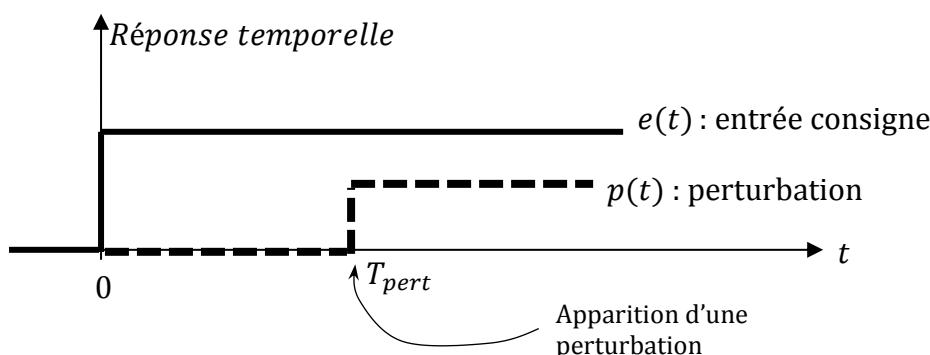
Intrinsic parameters		V/1000 rpm	2.03
20	Back-EMF constant		

- Convertir cette valeur de K_e en unité du système international, soit, en $V.s.rad^{-1}$.
- Démontrer que l'unité $V.s.rad^{-1}$ est dimensionnellement équivalente à $N.m.A^{-1}$.
- Comparer avec la valeur de la constante de couple donnée en annexe 1 (Et non, ce n'est pas un hasard !)
- Se reporter à l'annexe 2 et calculer le rapport de réduction K_r du réducteur.

Q1. Bien lire les objectifs du sujet, la présentation et le contexte de l'étude.

On étudie un système asservi d'ordre au moins égal à 2 (c'est-à-dire potentiellement oscillant voire instable, alors qu'un ordre 1 asservi est toujours stable et non oscillant). On place un correcteur proportionnel de gain K_p . On soumet le système à un échelon de consigne à $t = 0$, et à une perturbation à $t = T_{pert}$.

Q2. Représenter l'allure générale des réponses possibles quand on augmente le gain K_p . On n'oubliera pas de représenter la consigne et la perturbation. L'objectif de votre graphique est de montrer comment évoluent l'erreur statique, le temps de réponse et les dépassements (quand ils existent) avec l'augmentation de K_p et à l'apparition de la perturbation. Utiliser une demi-page. Quatre courbes suffisent pour montrer les différentes possibilités.



On utilise maintenant un correcteur proportionnel intégral dont la fonction de transfert est : $C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$. L'influence de l'intégration sur le système est d'autant plus importante de K_i augmente. On n'étudie pas ici, l'apparition de la perturbation.

Q3. Sur un autre graphique, représenter l'allure générale des réponses possibles quand on augmente le gain K_i . On n'oubliera pas de représenter la consigne. L'objectif du graphique est de montrer comment évoluent l'erreur statique, le temps de réponse et les dépassements (quand ils existent) avec l'augmentation de K_i . Utiliser une demi-page.

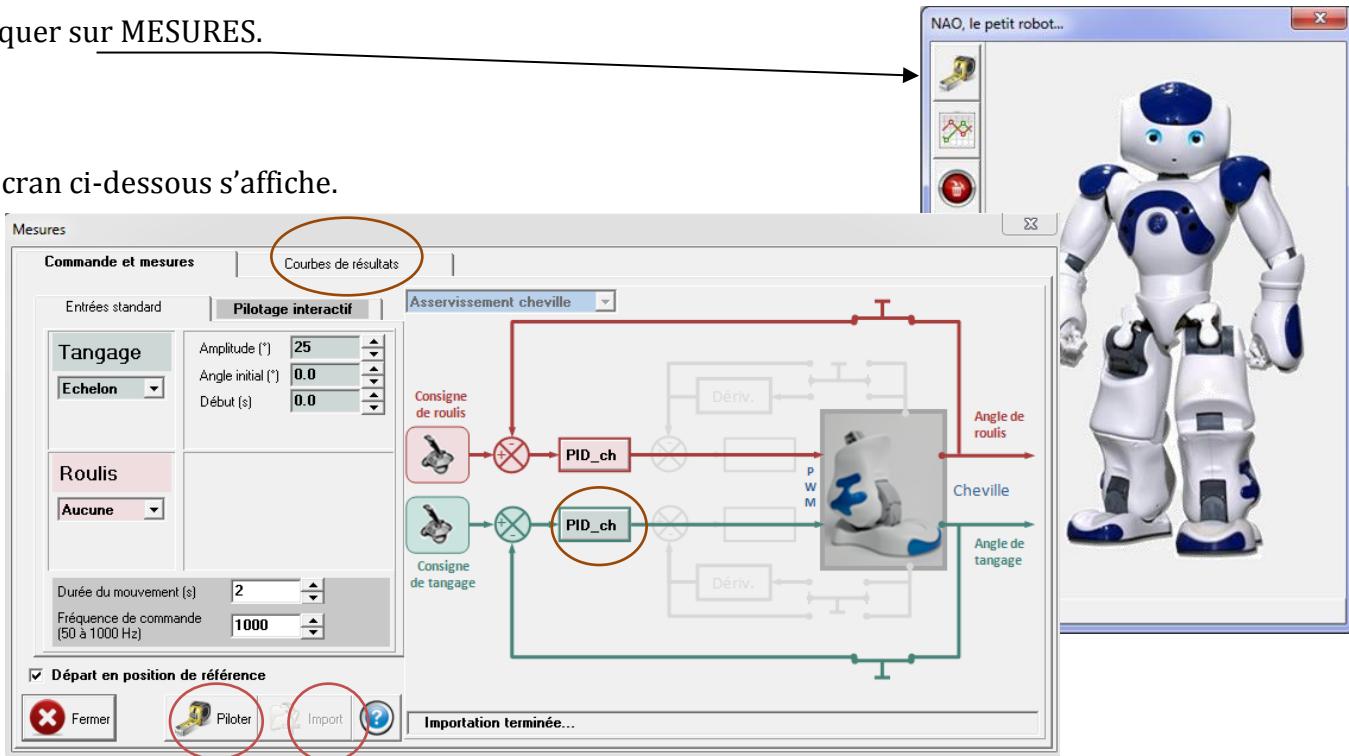
PARTIE 2 : EXPERIMENTATION

Prise en main du système : réponse indicielle de l'axe de tangage

A partir de l'ordinateur lancer le logiciel de commande et d'affichage de la cheville NAO.

Cliquer sur MESURES.

L'écran ci-dessous s'affiche.



Réponse indicielle

Envoyer en entrée : un échelon de position d'amplitude 25°, de début = 0 et de durée 2s sur l'axe de tangage commandé en Boucle Fermée avec Kp= 50 (coefficients du correcteur proportionnel). Les autres coefficients du correcteur Ki et Kd sont réglés à zéro : $K_i = K_d = 0$.

Pour que l'axe de roulis reste inactif dans toute l'étude, mettre en place une commande en échelon d'amplitude nulle sur cet axe.

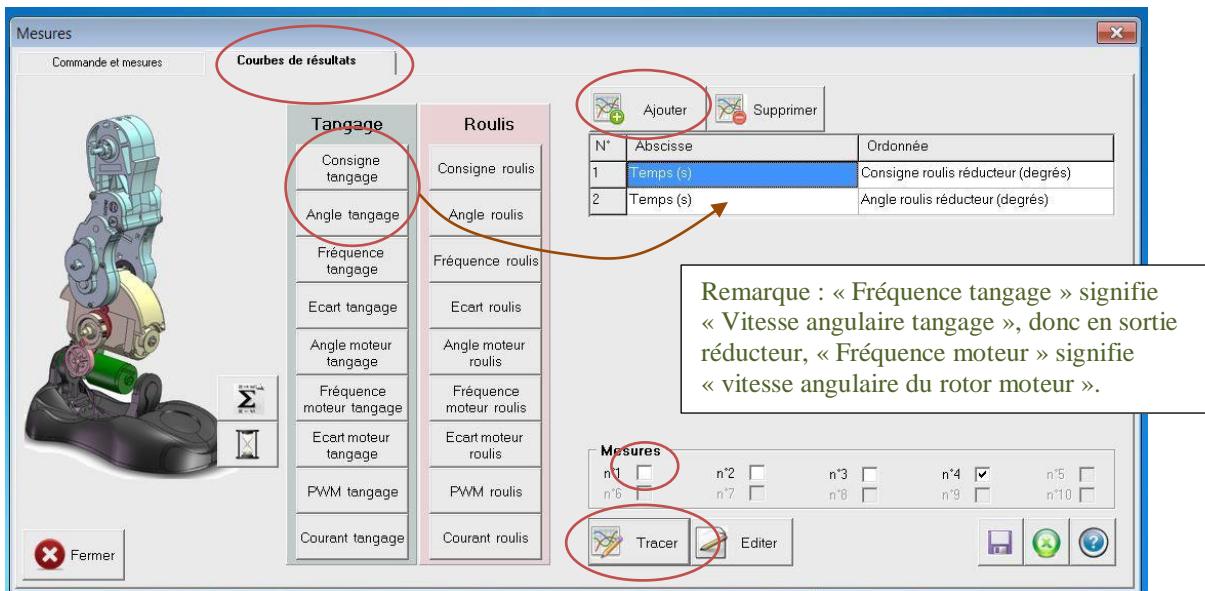
Lancer la **MESURE** (« Piloter ») : l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute.

Réaliser l'**IMPORT**.

Ouvrir la fenêtre d'**AFFICHAGE DE COURBES** (« Courbes de résultats ») : Cocher ce que vous souhaitez visualiser (**AJOUTER** le temps en abscisses, l'angle tangage et la consigne en ordonnées).

Cocher la **mesure N° 1**.

TRACER.



Observer les courbes obtenues.

Notez bien pour la visualisation des courbes : vous avez accès à l'historique de dix courbes. Pour visualiser la courbe de votre nouvelle mesure, n'oubliez pas de cocher le numéro de la nouvelle mesure, car par défaut l'applicatif affiche la mesure précédente !

Travail 1 - Influence du gain proportionnel

Objectif du travail : évaluer expérimentalement l'influence de la variation du gain proportionnel K_p sur les performances de l'asservissement angulaire en tangage de la cheville.

Performance à évaluer	Critère quantificateur choisi
Stabilité	Binaire EBSB
Précision	Erreur statique
Rapidité	Temps de réponse à 5%
Amortissement	1 ^{er} dépassement relatif

Aide pour la réalisation de ce travail :

- Tangage proche de la direction verticale
- Valeurs du gain K_p : 50, 100, 200, 300, 800, 1500
- Remplir le tableau récapitulatif fourni : « *Influence Kp Ki - tableau de valeurs* »
- Mettre en évidence l'optimum du temps de réponse à 5% (non monotonie de sa variation). Etablir les valeurs de $Tr_{5-minimal}$, et du gain optimal Kp_{tr5opt} .
- Conclusion/synthèse manuscrite pour chaque performance.

Travail 2 – Influence du gain intégral

On utilise un correcteur de type proportionnel intégral.

Un correcteur proportionnel AJOUTE l'effet proportionnel à l'effet intégrateur. On peut donner la fonction de transfert du correcteur sous cette forme :

$$C(p) = K_p + K_i \frac{1}{p}$$

Notez que d'autres formes sont possibles. Cette forme est celle retenue par le constructeur ERM de la cheville pédagogique. Ainsi quand on augmente la valeur de K_i saisie, l'influence de l'intégration augmente par rapport à la partie proportionnelle.

Objectif du travail : évaluer expérimentalement l'influence de la variation du gain intégral K_i sur les performances de l'asservissement angulaire en tangage de la cheville.

Aide pour la réalisation de ce travail :

- Performance/critères identiques à précédemment
- Tangage proche de la direction verticale
- Fixer le gain proportionnel $K_p = 400$ (essayer $K_p = 1000$ si résultats peu significatifs)
- Valeur du gain K_i : 200, 1000, 2600
- Faire un tableau récapitulatif des valeurs
- Conclusion/synthèse manuscrite « point par point »



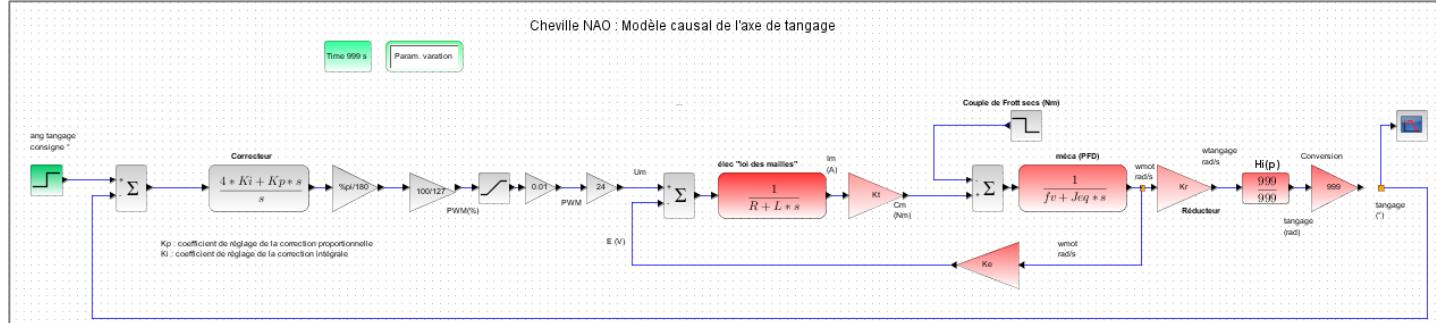
Fin de la partie 2 : permutation.

PARTIE 3 : SIMULATION

Sur un PC de la « zone informatique », ouvrez le logiciel Scilab, A PARTIR DE L'ICONE DU BUREAU SANS FAIRE UNE RECHERCHE. Sinon vous risquez d'ouvrir une mauvaise version.

Ensuite, quand Scilab est ouvert, ouvrez le modèle simulé Scilab/Xcos : « NAO BF avec MCC 2e0-eleve ».

Vous obtenez un schéma bloc qui ressemble à ceci :



Préparation du modèle causal

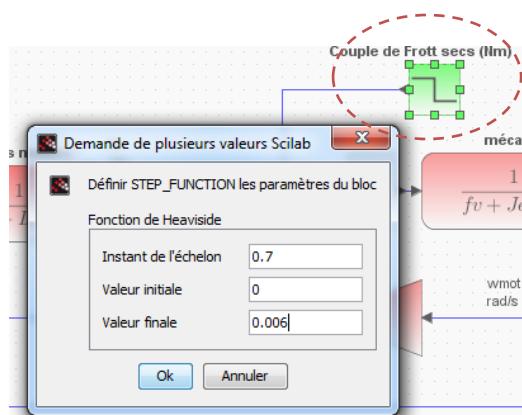
Reportez-vous à l'annexe 1 et saisissez les valeurs des données du moteur électrique : R, L, Ke, Kc, et même Kr le rapport de réduction du réducteur à engrenage déjà calculé.

Saisir le coefficient de frottement visqueux équivalent, et l'inertie équivalente rapportés au rotor moteur : f_v et J_{eq} .

Saisir la fonction de transfert $H_i(p)$ et le gain proportionnel nommé « conversion ».

Modélisation du frottement sec

Le frottement sec entre les pièces mobiles est reporté au rotor moteur sous la forme d'un couple évalué expérimentalement de valeur 0,0021 Nm. Pour visualiser l'effet de la correction sur le frottement sec, et sur une perturbation en général, nous choisissons de faire apparaître ce couple quand le régime est établi à, disons, 0,7s. Cela est bien entendu « artificiel », et uniquement « pédagogique » car ce couple est toujours présent sur le système dès le lancement du mouvement !

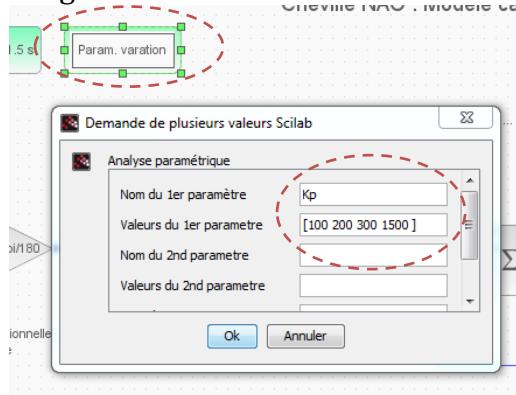


Simulation de la correction proportionnelle (pas de correction intégrale)

Saisir un coefficient de correction intégrale, nul : $K_i = 0$.

Pour visualiser l'effet de la correction proportionnelle sur l'asservissement, il faut afficher les réponses temporelles sur le même graphique, pour des réglages de K_p différents.

Simuler la réponse angulaire de la cheville pour une consigne de 20° avec les réglages simultanés de K_p suivant : 100, 200, 300, 1500. Pour visualiser les quatre réponses temporelles simultanément : utiliser le bloc « Paramètre Variation » comme indiqué sur la figure ci-dessous.



A vous d'adapter la durée de simulation... (bloc « Time »).

Analyse des réponses – conséquence de la correction proportionnelle

Analyser/Conclure sur l'influence de la correction proportionnelle : rapidité (temps de réponse à 5%), précision (erreur statique), amortissement (dépassement relatif).

Peut-être pouvez-vous-même conjecturer un effet sur la stabilité...

Simulation de la correction intégrale (correction proportionnelle donnée/fixée)

Pour visualiser uniquement l'effet de la correction intégrale, nous fixons la correction proportionnelle à $K_p = 1000$.

Faire une simulation pour des valeurs K_i égale à 200 et 2600.

Adapter l'instant d'apparition de la perturbation pour bien voir la valeur finale atteinte sans perturbation.

Adapter la durée de simulation.

Analyse des réponses – conséquence de la correction intégrale

Analyser/Conclure sur l'influence de la correction intégrale.



Fin de la partie 3 : permutation.

FIN DU SUJET

ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES MOTEUR

Ce tableau est édité par le constructeur des moteurs électriques équipant la cheville NAO. Les moteurs de tangage et roulis sont identiques.

Product Designation 22NT 82 213P 1001 1011226001. S30	09/10 Part No. 1011226001	Portescap		
Specification				
Measured values		unit	value	tolerance
1 Measuring voltage	V	18	-	
2 No-load speed	rpm	8300	±10%	
3 No-load current	mA	75	max	
4 Starting voltage	V	--	max	
5 Terminal resistance	Ohm	5.4	±10%	
Recommended values				
10 Continuous current (at 22°C)	A	0.92	max	
11 Continuous torque	mNm	16.1	max	
12 Angular acceleration	10³ rad/s²	181	max	
13 Ambient working temperature range	°C	-30°C to 65°C	typical	
14 Rated coil temperature	°C	155	max	
Intrinsic parameters				
20 Back-EMF constant	V/1000 rpm	2.03	±8%	
21 Torque constant	mNm/A	19.4	±8%	
22 Motor regulation R/k2	10³/Nms	13.71	typical	
23 Rotor inductance (@1kHz)	mH	0.6	typical	
24 Mechanical time constant	ms	4.5	-	
25 Thermal resistance rotor-body	°C/W	6	typical	
26 Thermal resistance body-ambient	°C/W	22	typical	
27 Thermal time constant – rotor	s	9	typical	
28 Thermal time constant –stator	s	550	typical	
29 Rotor Inertia	Kgm² 10⁻⁷	4.8	typical	
30 Stall torque	mNm	68	±8%	

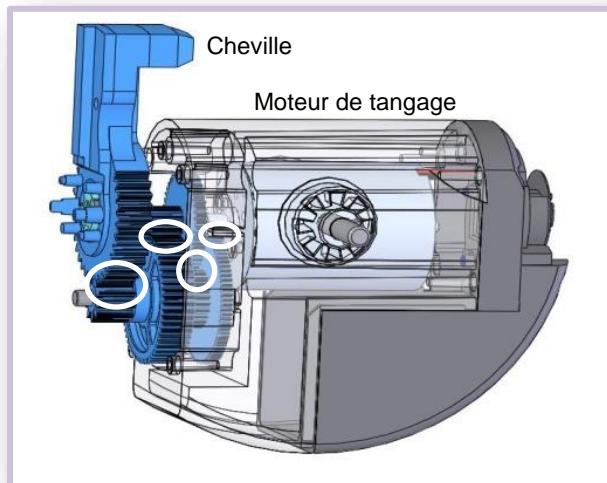
Moment d'inertie équivalent (rapporté au rotor moteur) de la chaîne cinématique tangage : $1,88 \cdot 10^{-6}$ kg.m²

Coefficient de frottement visqueux équivalent de la chaîne cinématique tangage : $1,00 \cdot 10^{-6}$ Nms (estimé par identification simul/expérimentation)

ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DU REDUCTEUR

Caractéristiques du réducteur de l'axe de tangage :

- 4 engrenages
- Engrènements extérieurs
- 8 roues dentées
- Dentures droites
- Axes parallèles



Ankle Pitch (tangage)	Nb de dents Zi	Entraxe de fonctionnement mm
Pièce		
pignon_03_20_moteur	20	15
mobile_inf_1-menée	80	
mobile_inf_1-menant	25	14,5
mobile_inf_2-menée	47	
mobile_inf_2-menant	12	14,5
mobile_inf_4-menée	58	
mobile_inf_4-menant	10	16,8
roue_sortie_réducteur	36	