

# Sciences de l'Ingénieur

## TP n°1 : Structure fonctionnelle et comportementale d'un SLCI

### Cheville Robot NAO



#### Objectifs :

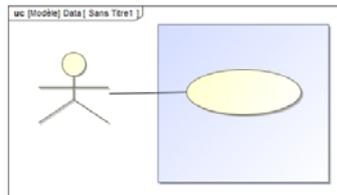
- Identifier l'organisation structurelle et comportementale d'un système,
- Modèle de connaissance d'un moteur à courant continu.

#### PRÉSENTATION de la maquette.

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a choisi de mettre en place une double articulation au niveau de sa cheville, et d'asservir la position de ces axes de tangage et de roulis.

#### Fonction globale

- ✎ Définir la fonction globale du système en réalisant le diagramme sysml des cas d'utilisation

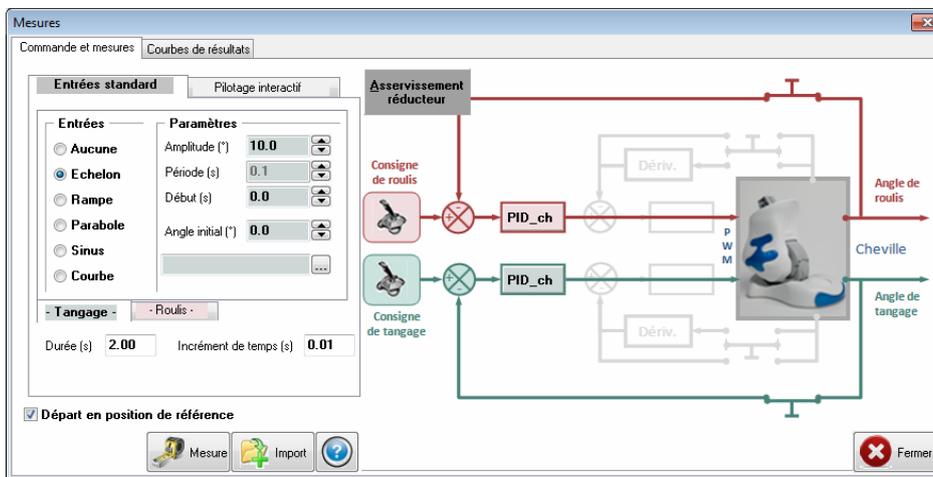


#### Fonctionnement de la maquette

Vérifier que la cheville est connectée à l'ordinateur puis lancer le logiciel de commande et d'affichage NAO-dev.exe.

Cliquer sur MESURES.

L'écran ci-dessous s'affiche.



#### Réponse indicielle :

Envoyer en **entrée un échelon de position d'amplitude 10°, de début = 0 et de durée 2s** sur l'axe de tangage commandé en **Boucle Fermée** avec **Kp (coefficient du correcteur proportionnel) = 200**

(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 ; l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute.

Réaliser l'IMPORT. Fermer la fenêtre de MESURE et ouvrir la fenêtre d'AFFICHAGE DE COURBES ; Cocher la mesure N° 1.

Avec AJOUTER, afficher la position en entrée (COMMANDE) et celle en sortie (ANGLE REDUCTEUR) de l'axe de tangage en fonction du temps.

Observer les courbes obtenues.

Remarque : l'utilisation de l'option ZOOM TOUT



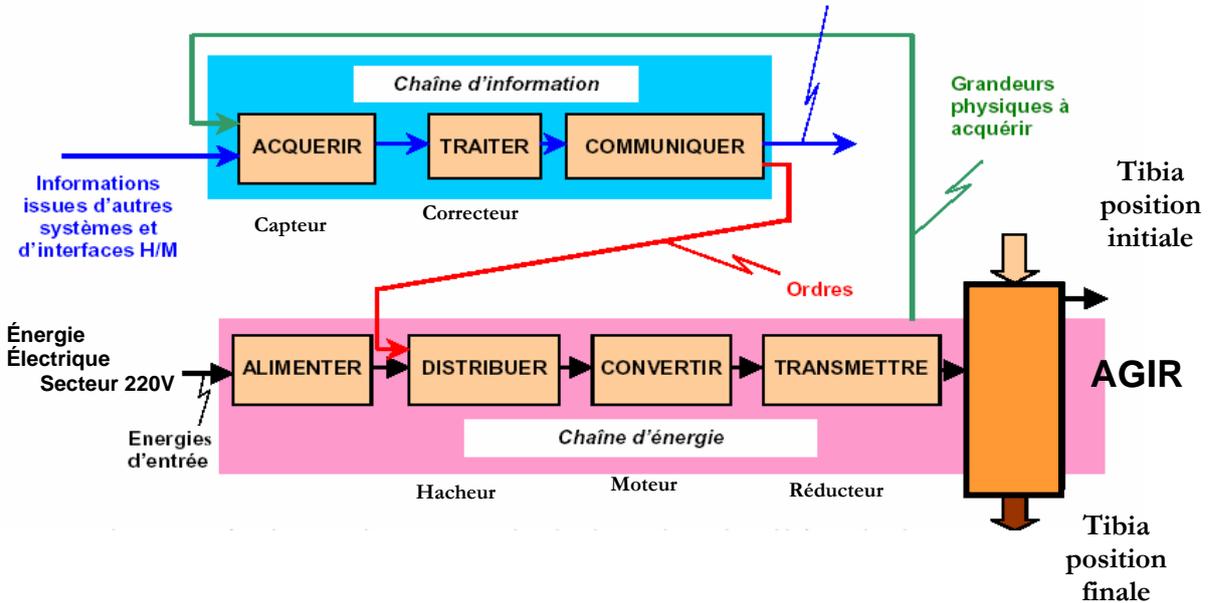
permet de voir au mieux les courbes.

**STRUCTURE FONCTIONNELLE ET COMPORTEMENTALE DE L'AXE DE TANGAGE**

La structure d'un axe (tangage ou roulis) peut être représentée par une chaîne fonctionnelle constituée d'une chaîne d'énergie et d'une chaîne d'information, élaborant le déplacement du tibia pour l'axe de tangage, par exemple.



Position souhaitée du tibia



- ✎ Réaliser le schéma bloc de ce système en indiquant la correspondance entre les éléments de la chaîne fonctionnelle et les éléments de ce schéma bloc.
- ✎ Indiquer les différentes grandeurs physiques circulant dans le schéma bloc ainsi que leurs unités.
- ✎ En vous aidant de l'annexe, déterminer la valeur des blocs : réducteur, capteur.

**MODELE DE COMPORTEMENT D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU**

Dans cette partie vous allez déterminer la fonction de transfert du moteur à courant continu.

**MODELE GENERAL DU SECOND ORDRE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU**

A partir des équations classiques de comportement du moteur à courant continu :

$$u_m(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

$$e(t) = k_e \cdot \omega_m(t) \quad (2)$$

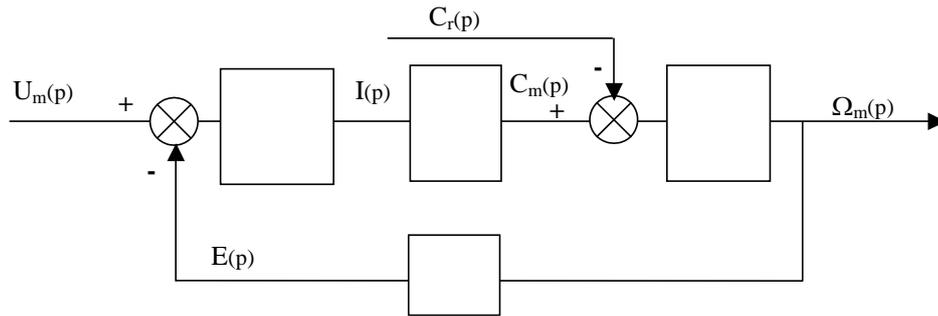
$$c_m(t) = k_t \cdot i(t) \quad (3)$$

$$c_m(t) - c_r(t) - f \cdot \omega_m(t) = J_t \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} \quad (4)$$

dans lesquelles :

- |                                                         |                                                               |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $u_m(t)$ : tension aux bornes de l'induit               | $R$ : résistance de l'induit                                  |
| $e(t)$ : force contre électromotrice                    | $L$ : inductance de l'induit                                  |
| $i(t)$ : intensité dans le circuit induit               | $k_e$ : constante de fem (inverse de la constante de vitesse) |
| $\omega_m(t)$ : fréquence de rotation de l'arbre moteur | $k_t$ : constante de couple                                   |
| $c_m(t)$ : couple moteur sur l'arbre moteur             | $f$ : coefficient de frottement visqueux : 0                  |
| $c_r(t)$ : « couple résistant » sur l'arbre moteur      | $J_t$ : Inertie moteur+ réducteur+ génératrice                |

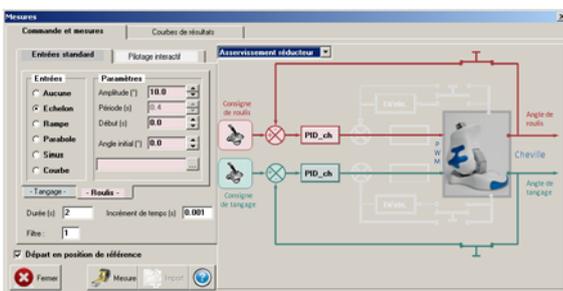
On peut passer dans le domaine de LAPLACE si les conditions initiales sont toutes nulles  
Ce qui conduit à la représentation sous forme du schéma bloc suivant :



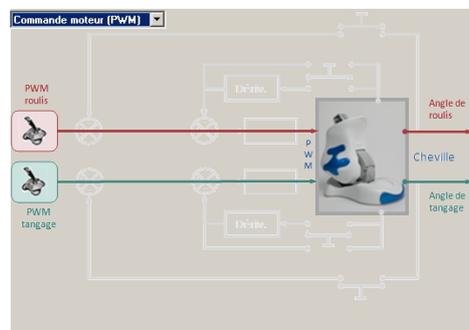
- ✗ En vous aidant de l'annexe, déterminer les valeurs de  $R$ ,  $L$ ,  $J_t$ ,  $k_e$  et  $K_t$ .
- ✗ Compléter le schéma bloc ci-dessus.
- ✗ Pour un couple résistant nul, calculer la fonction de transfert du moteur ; la mettre sous forme canonique ; faire les applications numériques.
- ✗ Mettre la fonction de transfert sous la forme : 
$$\frac{Km}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)}$$
- ✗ Déterminer  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , simplifier alors la fonction de transfert. Comparer la constante de temps conservée à la constante de temps mécanique du moteur (tableau des caractéristiques moteur).

### ETUDE EXPERIMENTALE :

Le système global (schéma bloc première partie) permet de réaliser des essais en boucle fermée ou en boucle ouverte :



Boucle fermée : prise en compte de la chaîne de retour + le comparateur.



Boucle ouverte : Entrée % tension moteur, sortie position moteur

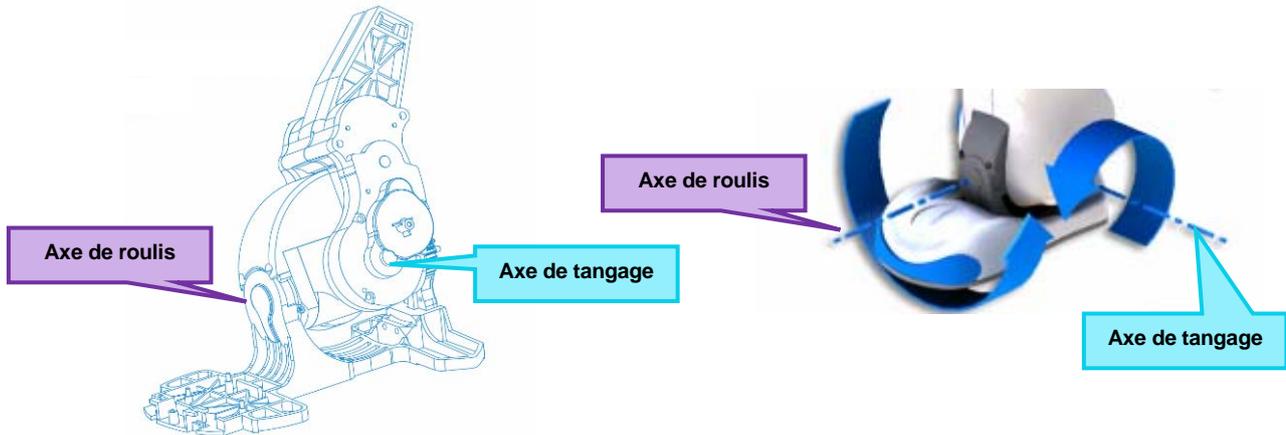
- ✗ Quel essai faut-il alors réaliser pour valider le modèle du moteur ? Quel résultat devrait-on obtenir ?
- ✗ Réaliser alors l'essai demandé (appeler le professeur)
- ✗ Valider ou non le modèle du moteur.

## ANNEXES

**Sous-Ensemble Cheville**

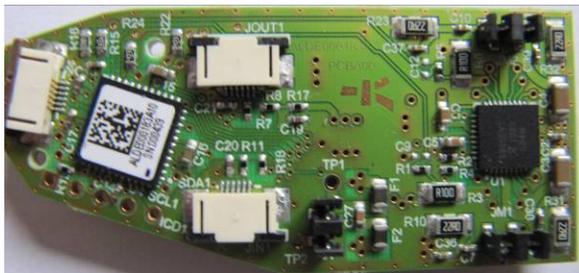
Ce sous-ensemble comporte 2 axes de liberté nommés :

- axe de tangage : **AnklePitch**
- axe de roulis : **AnkleRoll**



La photo ci-contre montre « l'intérieure » de la cheville.

Une seule carte de commande pilote les 2 axes.

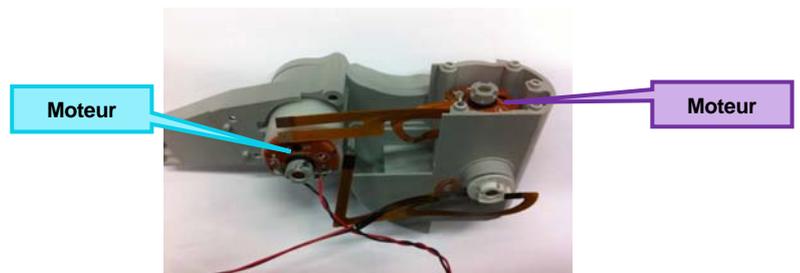


Ci-dessus les 2 faces de la carte de commande.

**Fonction Convertir**

La photo ci-dessous montre la position des 2 moteurs :

Ces moteurs sont des machines à courant continu (MCC).

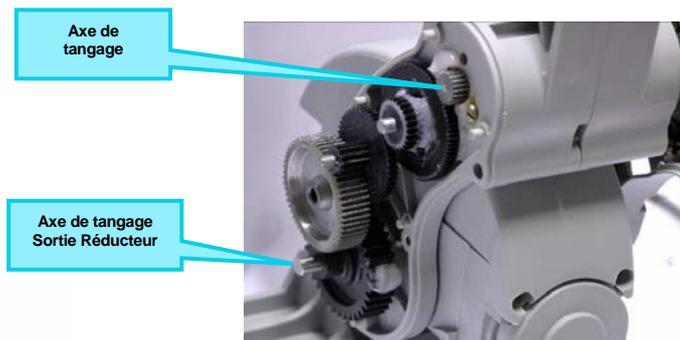


Specification		unit	value	tolerance
<b>Measured values</b>				
1	Measuring voltage	V	18	-
2	No-load speed	rpm	8300	±10%
3	No-load current	mA	75	max
4	Starting voltage	V	--	max
5	Terminal resistance	Ohm	5.4	±10%
<b>Recommended values</b>				
10	Continuous current (at 22°C)	A	0.92	max
11	Continuous torque	mNm	16.1	max
12	Angular acceleration	10 <sup>3</sup> rad/s <sup>2</sup>	181	max
13	Ambient working temperature range	°C	-30°C to 65°C	typical
14	Rated coil temperature	°C	155	max
<b>Intrinsic parameters</b>				
20	Back-EMF constant	V/1000 rpm	2.03	±8%
21	Torque constant	mNm/A	19.4	±8%
22	Motor regulation R/k2	10 <sup>3</sup> /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	Kgm <sup>2</sup> 10 <sup>-7</sup>	4.8	typical
30	Stall torque	mNm	68	±8%

## Fonction Transmettre

La photo ci-dessous montre le train d'engrenage pour l'axe de tangage :

Les rapports de réduction sont donnés ci-dessous roulis (Roll) et tangage (pitch) :



SPEED REDUCTION RATIO  
**ANKLEPITCH**

Reduction ratio 130.85

SPEED REDUCTION RATIO  
**ANKLEROLL**

Reduction ratio 201.3

## Fonction Acquérir (Position)

Les mesures de positions sont effectuées par 4 capteurs magnétiques MRE AS5045. Pour chaque axe (Pitch et Roll), il y a un capteur sur l'axe du moteur et un capteur sur l'axe en sortie du réducteur.

 **AS5045**  
12 Bit Programmable Magnetic Rotary Encoder

Ce circuit est un codeur rotatif magnétique sans contact. Il combine un DSP et des capteurs à effet Hall intégrés.

Pour mesurer un angle, un aimant circulaire centré au dessus du composant est nécessaire.

La position absolue de l'aimant mesurée avec une résolution de 0,0879° (12 bits,  $360^\circ/2^{12}$ ).

L'information peut être transmise sous forme analogique (signal PWM dont le rapport cyclique est proportionnel à l'angle) ou sous forme numérique (flot série de bits).

