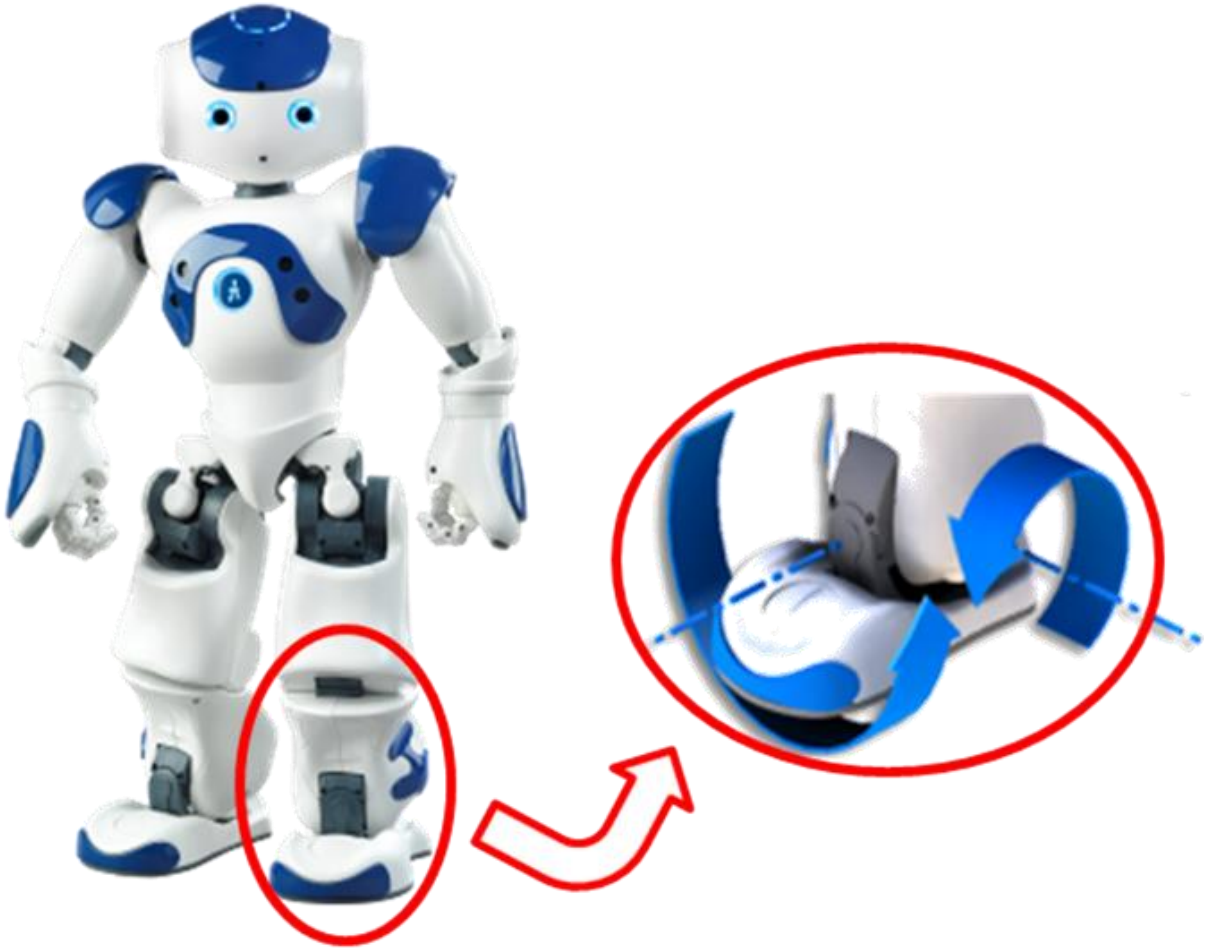
Travaux Pratiques – ENERGETIQUE
CHEVILLE NAO



Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à mesurer, identifier et vérifier les caractéristiques dynamiques de la cheville du robot NAO valider le choix de motorisation du système.

1 – Présentation et problématique

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a conçu la chaîne de puissance des axes de tangage et de roulis en prenant en compte les phénomènes liés au déplacement des masses à vitesse variable.

Afin de valider la motorisation d'un des deux axes, nous proposons ici d'identifier les paramètres influents lors d'un mouvement de la cheville du robot NAO. Une étude énergétique globale sera également réalisée afin d'obtenir une estimation du rendement global de la cheville du robot NAO.

2 – Détermination expérimentale des paramètres influents sur le mouvement en tangage de la cheville NAO

Il s'agit dans cette partie d'effectuer 3 séries de mesure sur la cheville NAO en faisant varier la répartition de masse afin de changer l'inertie de l'ensemble en mouvement. Pour chaque mesure, l'objectif est de caractériser la vitesse de rotation et l'accélération angulaire de la cheville.

Remarque : Pour chaque étude, le pied doit être maintenu en liaison complète avec son socle et le tibia doit évoluer dans un plan horizontal pour dissocier les effets liés à la pesanteur des effets liés à l'inertie des masses. **Pour cela, la cheville sera inclinée d'un angle de 75° pour toutes les mesures de ce TP.**

Première série de mesures

Position de la masse variable :

- Masse additionnelle : 402 g
- Durée de la commande : 2 s
- Filtre : 10 (moyenne de la position sur 10 positions)
- Commande : En Boucle Ouverte ($K_p = 200$)
- Position de la masse : 50 mm / 100 mm / 150 mm / 200 mm / 250 mm

Tangage :

- Type d'entrée : Commande moteur (PWM) en cochant *Echelon*
- Amplitude du mouvement : 70°
- Décocher le départ en position de référence
- **Positionner la cheville à -90° vers l'arrière**

Roulis :

- Type d'entrée : Echelon
- Amplitude du mouvement : 0°
- Angle initial : -30°

Remarque : L'intérêt de partir avec la cheville à -90° vers l'arrière est d'obtenir une amplitude de mouvement importante.

La cheville étant commandée en Boucle Ouverte, elle va « taper » en butée. Il faut donc amortir la fin du mouvement avec la main pour éviter les chocs contre cette butée.

Pour les différentes positions de la masse, tracer les évolutions de l'angle en sortie du réducteur (*angle de tangage*) en fonction du temps sur une même fenêtre graphique (*penser à cocher les différentes mesures*).

Déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° noté $t_{100°}$.

Tracer l'évolution de ce temps ($t_{100°}$) en fonction de la position de la masse. Analyser la courbe obtenue et conclure.

A partir des mesures effectuées, tracer la vitesse de rotation du moteur pour les différentes positions de la masse additionnelle. Conclure sur l'accélération de la cheville.

Deuxième série de mesures

Masse variable :

- Masse additionnelle : 92 g / 132 g / 182 g / 272 g / 362 g /402 g
- Durée de la commande : 3 s
- Filtre : 10 (moyenne de la position sur 10 positions)
- Commande : En Boucle Ouverte ($K_p = 200$)
- Position de la masse : 150 mm

Tangage :

- Type d'entrée : Commande moteur (PWM) en cochant *Echelon*
- Amplitude du mouvement : 55°
- Décocher le départ en position de référence
- **Positionner la cheville à -90° vers l'arrière**

Roulis :

- Type d'entrée : Echelon
- Amplitude du mouvement : 0°
- Angle initial : -30°

La cheville étant commandée en Boucle Ouverte, elle va « taper » en butée. Il faut donc amortir la fin du mouvement avec la main pour éviter les chocs contre cette butée.

Pour les différentes masses, tracer les évolutions de l'angle en sortie du réducteur (*angle de tangage*) en fonction du temps sur une même fenêtre graphique (*penser à cocher les différentes mesures*).

Déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° noté $t_{100°}$.

Tracer l'évolution de ce temps ($t_{100°}$) en fonction de la masse. Analyser la courbe obtenue et conclure.

A partir des mesures effectuées, tracer la vitesse de rotation du moteur pour les différentes masses additionnelles. Conclure sur l'accélération de la cheville.

Troisième série de mesures

PWM variable :

- Masse additionnelle : 0 g (pour éviter la saturation en courant du moteur)
- Durée de la commande : 3 s
- Filtre : 10 (moyenne de la position sur 10 positions)
- Commande : En Boucle Ouverte ($K_p = 200$)

Tangage :

- Type d'entrée : Commande moteur (PWM) en cochant *Echelon*
- Amplitude du mouvement : 15° / 30°/ 45° / 60° / 75° / 90°
- Décocher le départ en position de référence
- **Positionner la cheville à -90° vers l'arrière**

Roulis :

- Type d'entrée : Echelon
- Amplitude du mouvement : 0°
- Angle initial : -30°

La cheville étant commandée en Boucle Ouverte, elle va « taper » en butée. Il faut donc amortir la fin du mouvement avec la main pour éviter les chocs contre cette butée.

Expliquer ce qu'est un PWM ainsi que le fonctionnement du hacheur permettant de fournir un signal PWM avec un rapport cyclique α.

Expliquer comment le PWM permet de faire varier la puissance électrique fournie au moteur et donc de faire varier la puissance motrice sur l'axe de la cheville.

Pour les différentes valeurs du PWM, tracer les évolutions de l'angle en sortie du réducteur (*angle de tangage*) en fonction du temps sur une même fenêtre graphique (*penser à cocher les différentes mesures*).

Déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° noté $t_{100°}$.

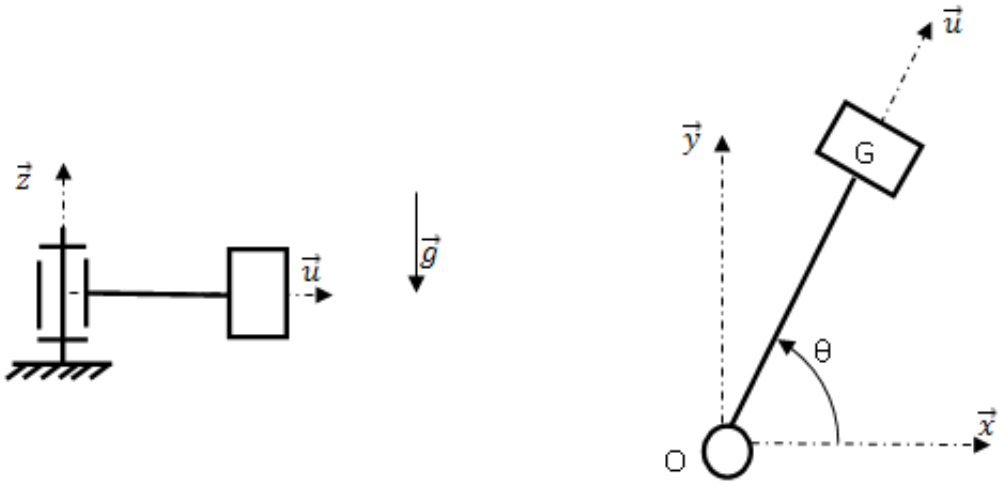
Tracer l'évolution de ce temps ($t_{100°}$) en fonction du PWM. Analyser la courbe obtenue et conclure.

A partir des mesures effectuées, tracer la vitesse de rotation du moteur pour les différentes valeurs de PWM. Conclure sur l'accélération de la cheville.

Conclure sur l'impact de la masse, du PWM et de la position de la masse sur la vitesse de rotation du moteur et l'accélération de la cheville.

3 – Détermination analytique des paramètres influents sur le mouvement en tangage de la cheville NAO

On propose une modélisation dynamique simple de l'articulation de tangage de la cheville.



Les frottements visqueux et les frottements secs seront pris en compte sous forme de couples ramenés à l'arbre moteur.

A partir de la modélisation précédente, écrire l'équation de la dynamique adaptée.

Commenter et analyser chacun des termes de l'équation précédente.

Cette équation valide-t-elle, de façon qualitative, les résultats expérimentaux obtenus par l'équipe **EXPERIMENTATEUR**.

4 – Détermination numérique des paramètres influents sur le mouvement en tangage de la cheville NAO

Un modèle Scilab/Xcos du comportement dynamique de la cheville NAO est partiellement défini dans le fichier « **CHEVILLE NAO Comportement à vide ELEVES*.xcos*** ».

Dans l'onglet "Simulation" puis "Modifier le contexte » :

- Vérifier les valeurs des caractéristiques du moteur (R et L)
- Vérifier les valeurs des constantes K_t et K_e
- Justifier la valeur de r

Expliquer le raisonnement pour prendre en compte dans une étude dynamique la masse et la position de la masse. Il pourra être intéressant de faire le lien avec l'inertie rapporté à l'arbre moteur.

Compléter le schéma bloc pour prendre en compte la masse et la position de la masse.

Réaliser une simulation et comparer les valeurs obtenues par simulation avec celles mesurées par l'équipe **EXPERIMENTATEUR**.

Conclure sur les résultats obtenus numériquement notamment concernant l'influence des paramètres (masse et position de la masse) sur la vitesse de rotation de la cheville en tangage.

5 – Détermination expérimentale du rendement global de la cheville NAO

Déterminer l'inertie équivalente expérimentale ramenée sur l'arbre moteur à partir d'une série de mesures à réaliser.

Réaliser 3 acquisitions (pour 3 valeurs de PWM différentes, à indiquer) lors d'un mouvement en tangage de la cheville à vide (sans masse).

A partir des mesures précédentes, déterminer le couple résistant « à vide » à la rotation du moteur.

Remarque : On pourra utiliser les propriétés du moteur à courant continu présentes dans le **DOSSIER RESSOURCES**.

La puissance électrique consommée par le moteur est dissipée sous forme de pertes Joules et magnétique dans le moteur, et par les pertes par frottements dans l'ensemble de la chaîne mécanique.

En fonctionnement à vide, on peut écrire : $P_{consommée} = P_{Joules} + P_{magnétique} + P_{Frottement}$

avec : $P_{magnétique} = f_m . {\omega_m}^2$ et f_m = facteur de perte magnétique = $4.10^{-5}\ W.rad^{-2}.s^2$

Le couple de frottement peut être modélisé par : $C_{r0} = f_{visqueux}.\omega + f_{sec}$

Remplir le fichier Excel « CHEVILLE NAO *Couple résistant à vide ELEVES* » avec les différentes grandeurs mesurées lors des essais précédents.

Calculer $P_{consommée}$, P_{Joules}, $P_{magnétique}$.

En déduire $P_{Frottement}$ puis C_{r0}.

Remarque : Pour le calcul de ω_{moteur}, il pourra être utile d'utiliser le rapport de réduction global et d'utiliser la courbe de la fréquence du réducteur (vitesse de rotation du réducteur).

Proposer une modélisation du couple résistant « à vide » rapporté à l'axe du rotor, c'est à dire une équation (loi affine) donnant le couple de frottement en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

En déduire les valeurs de $f_{visqueux}$ et f_{sec}.

A partir des résultats précédents, estimer le rendement global de la cheville NAO.

6 – Détermination analytique du rendement global de la cheville NAO

Par une méthode énergétique, en prenant les puissances explicitées dans l'étude expérimentale précédente, faire une étude énergétique globale de la cheville NAO.

Estimer numériquement le rendement global de la cheville NAO.

7 – Détermination numérique du rendement global de la cheville NAO

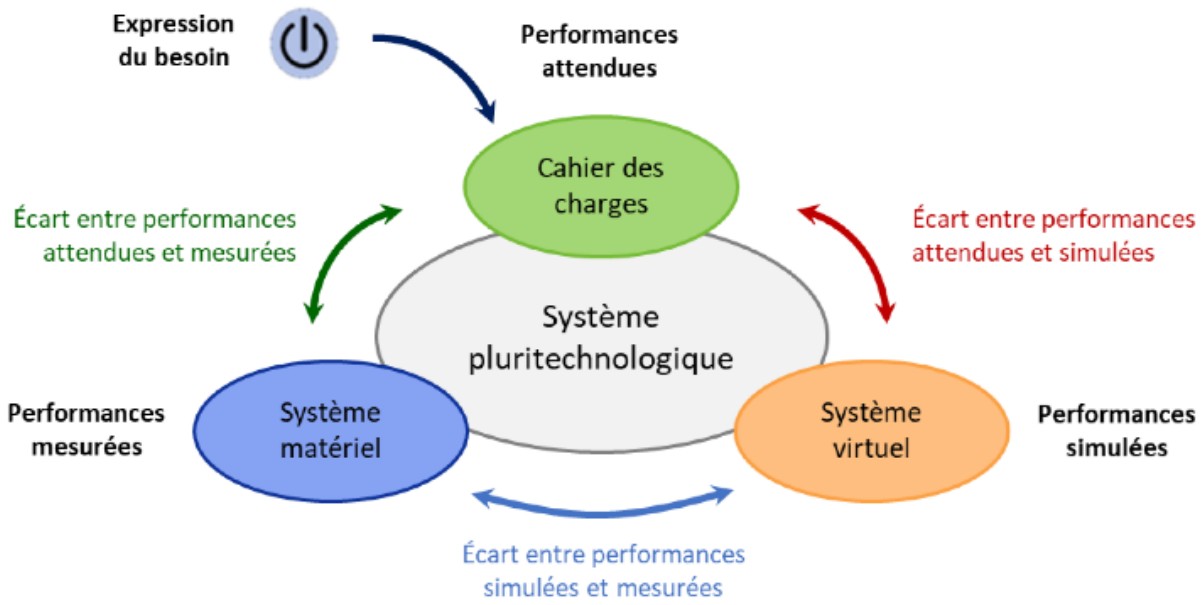
Un modèle Scilab/Xcos du comportement dynamique de la cheville NAO est partiellement défini dans le fichier « **CHEVILLE NAO Comportement à vide ELEVES.*xcos*** ».

Compléter le schéma bloc pour prendre en compte le couple de frottement, l'inertie rapporté à l'arbre moteur et le frottement sec et visqueux déterminés précédemment par l'équipe **EXPERIMENTATEUR**.

Réaliser une simulation et comparer les valeurs obtenues par simulation avec celles mesurées par l'équipe **EXPERIMENTATEUR**.

En vous aidant de la simulation (il est possible de modifier le schéma bloc si nécessaire), estimer numériquement le rendement global de la cheville NAO.

7 – Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour l'influence des paramètres (masse, position de la masse, PWM moteur) sur la vitesse de rotation de la cheville en tangage, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les estimations réalisées pour le rendement global de la cheville NAO, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.