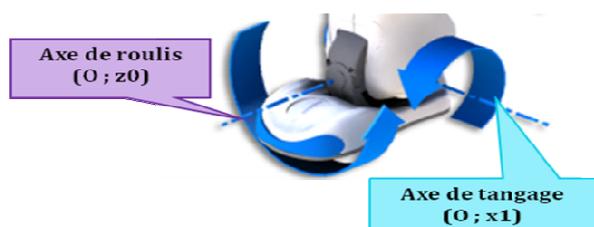


Problème technique

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a conçu la chaîne d'énergie 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 une simulation du couple moteur ; la représentativité de cette simulation sera validée en faisant varier la masse, l'accélération et la position du centre de gravité.

**Objectif et démarche**

La démarche d'identification permet la caractérisation d'un modèle associé à ce système, à partir de relevés expérimentaux.

L'objectif de ce TP sera d'identifier, à partir d'expériences, les phénomènes liés à l'inertie des masses pouvant perturber le comportement global de la cheville, et leur conséquence sur le couple moteur nécessaire pour atteindre une position.

Le système sera excité en boucle ouverte avec comme variables la position du point sur lequel la masse est concentrée, la valeur de la masse et la durée imposée pour atteindre la position voulue.

Ensuite, à l'aide de Simulink, la simulation du comportement de la cheville sera validée en observant l'évolution de la vitesse en fonction du couple moteur.

Enfin, le diagnostic des écarts entre les résultats simulés et les réponses expérimentales permettra de valider la représentativité de cette modélisation en vue de la validation de la motorisation.

Table des matières

| | |
|--|---|
| Prise en main du robot NAO | 3 |
| Prise en main de l'ensemble Cheville | 4 |
| Etude expérimentale | 5 |
| Modélisation d'une masse en rotation | 8 |
| Diagnostic entre la simulation et les mesures avec Simulink..... | 9 |

PRISE EN MAIN DU ROBOT NAO

Mettre le robot NAO sous tension et vérifier sa connexion au chargeur et à l'ordinateur. Lancer NAOQI pour l'initialisation.

Lancer CHOREGRAPHE en double cliquant sur le fichier Debout-Marche-Assis.crg.

Cliquer CONNEXION, sélectionner la ligne NAO.et cliquer sur CONNECT. Cliquer sur PLAY pour lancer le programme. Faire de même pour le fichier : Taichi.crg.

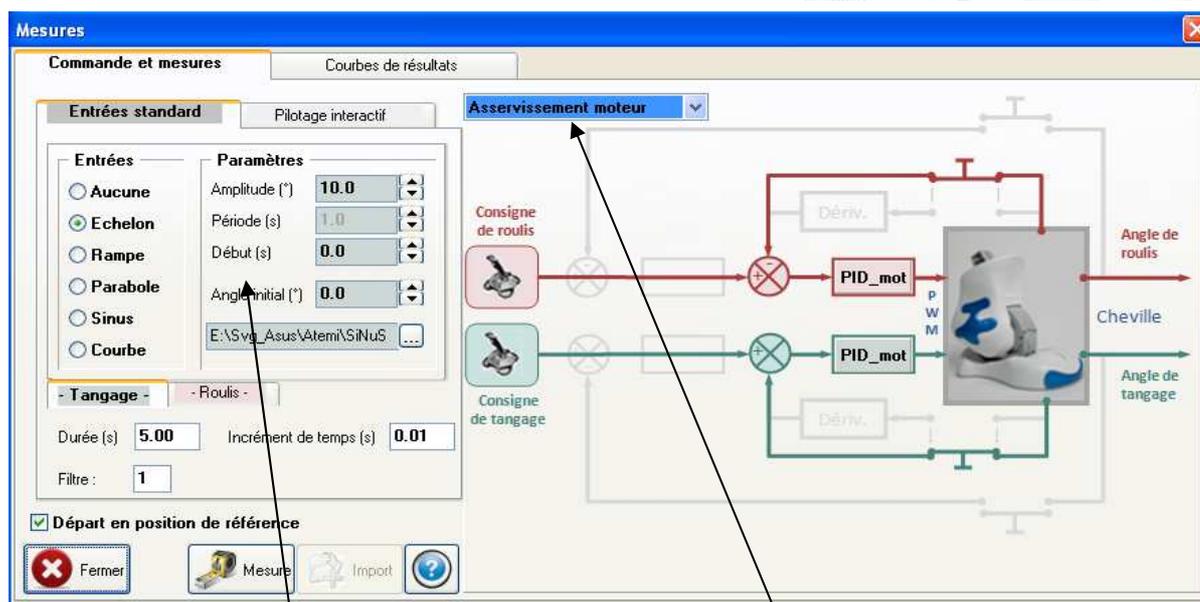
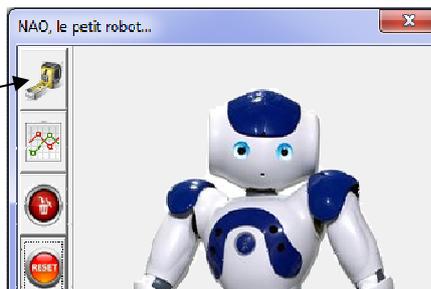
Observer en particulier les mouvements de tangage et de roulis de la cheville de NAO.

PRISE EN MAIN DE L'ENSEMBLE CHEVILLE

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

Cliquer sur MESURES.

La fenêtre ci-dessous s'affiche :



Paramètres de réglage
de la consigne en position

Paramètres liés au pilotage
interne de la cheville

Premier essai :

Envoyer en entrée un échelon de position d'amplitude 30° , de début = 0 et de durée 2s sur l'axe de tangage commandé en Boucle Ouverte avec K_p (coefficient proportionnel) = 200

Afin de ne commander que l'axe de tangage, il est nécessaire de vérifier l'immobilité de l'axe de roulis : cliquer sur Roulis, les paramètres de réglage sont visibles et choisir une commande en échelon d'amplitude nulle sur l'axe de roulis.

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.

ETUDE EXPERIMENTALE

Il s'agit dans cette partie d'effectuer trois séries de mesures sur la cheville.

Protocole expérimental :

Pour chaque mesure, l'objectif est de caractériser la vitesse de rotation et l'accélération angulaire de la cheville. Ainsi, 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.

Première série de mesures : position de la masse variable

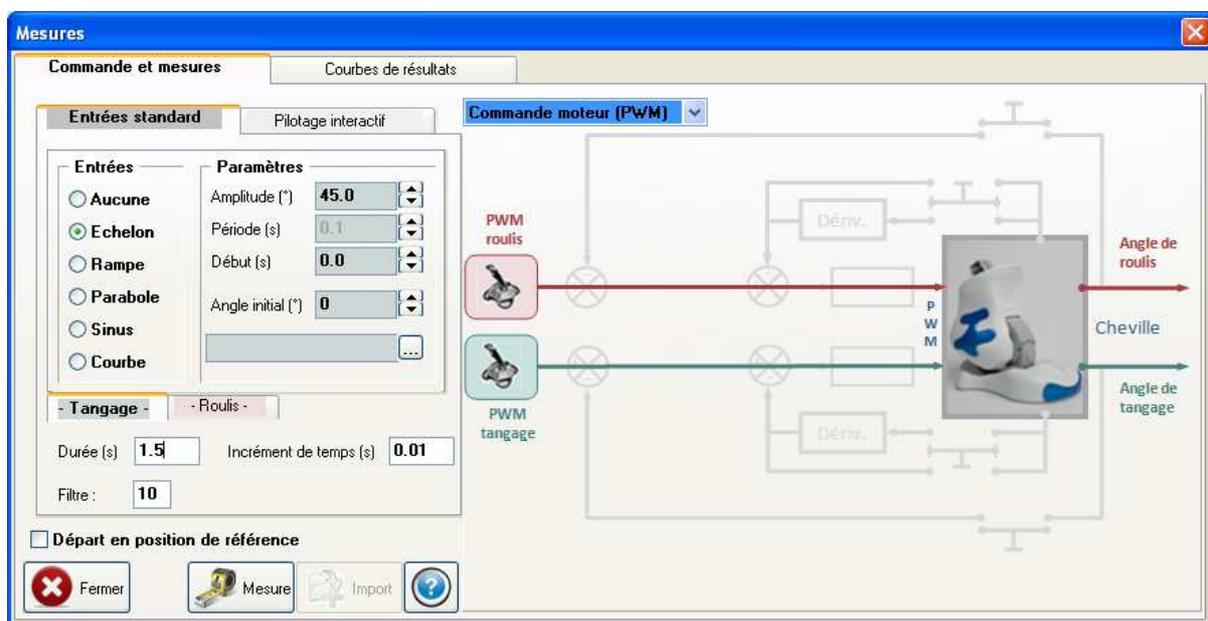
- Masse additionnelle : 400g
- Durée de la commande : 2s
- Filtre : 10 (moyenne de la vitesse sur 10 positions)
- Commande : en boucle ouverte
- Position de la masse : 50mm – 100mm – 150mm – 200mm – 250mm

Tangage :

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

Roulis :

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



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

Q1: Pour les différentes positions de la masse, tracer les évolutions de l'angle en sortie du réducteur en fonction du temps.

Q2: A partir des courbes obtenues, déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° ; compléter le tableau du document réponse.

Tracez à l'aide du logiciel Excel l'évolution de T_{100° en fonction de la position de la masse d : $T_{100^\circ} = f(d)$

Observer cette courbe et conclure.

Q3: 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 : 100g – 150g – 200g – 300g – 400g
- Durée de la commande : 3s
- Commande : en boucle ouverte
- Position de la masse : 150mm

Tangage :

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

Roulis :

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

Attention : 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.

Q4: Tracer l'évolution de l'angle en sortie du réducteur en fonction du temps pour les différentes masses. A partir des courbes obtenues, déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° ; compléter le tableau du document réponse.

Tracez à l'aide du logiciel Excel l'évolution de T_{100° en fonction de la masse M : $T_{100^\circ} = f(M)$

Observer cette courbe et conclure.

Q5: A partir des mesures effectuées, tracer la vitesse de rotation de la cheville pour les différentes masses additionnelles.

Conclure sur l'accélération de la cheville.

Troisième série de mesures : PWM variable

- Masse additionnelle : 0g (pour éviter la saturation en courant du moteur)
- Durée de la commande : 3s
- Commande : en boucle ouverte

Tangage :

- Type d'entrée : commande moteur (PWM) en cochant échelon
- Amplitude du mouvement : 15 – 30 – 45 – 60 – 75 – 90
- Décocher le départ en position de référence ET **positionner la cheville à -90° vers l'arrière**

Roulis :

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

Attention : 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.

Le PWM est une caractéristique du hacheur qui alimente le moteur. Le hacheur construit une tension d'alimentation du moteur périodique selon le principe suivant :

- de 0 à αT , la tension est constante
 - de αT à T la tension est nulle
- avec $0 < \alpha < 1$

Plus le PWM est grand, plus la valeur de α est grande. Ainsi, faire varier la valeur du PWM permet de faire varier la puissance électrique fournie au moteur, et donc faire varier la puissance motrice sur l'axe de la cheville.

Q6: Pour les différentes valeurs du PWM définies ci-dessus, tracer les évolutions de l'angle en sortie du réducteur en fonction du temps.

A partir des courbes obtenues, déterminer le temps mis par la cheville pour parcourir une amplitude de 100° ; compléter le tableau du document réponse.

Tracez à l'aide du logiciel Excel l'évolution de T_{100° en fonction du PWM : $T_{100^\circ} = f(\text{PWM})$

Observer cette courbe et conclure.

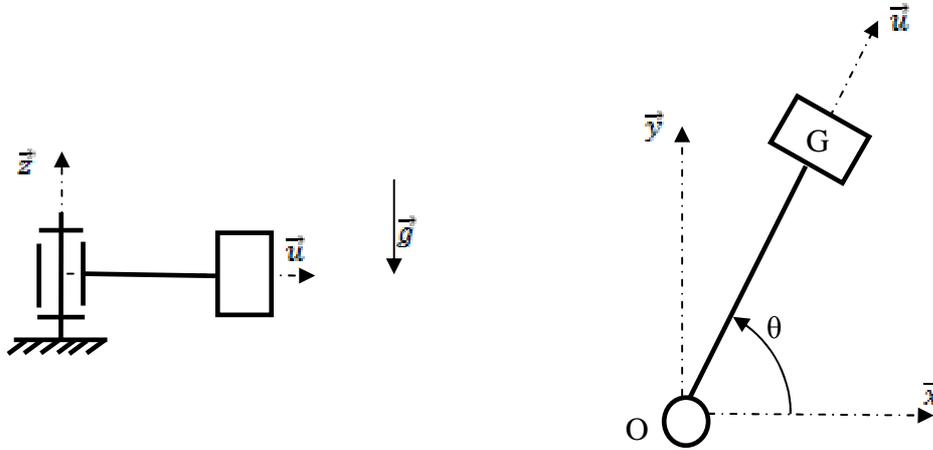
Q7: A partir des mesures effectuées, tracer la vitesse de rotation de la cheville pour les différentes valeurs du PWM.

Conclure sur l'accélération de la cheville.

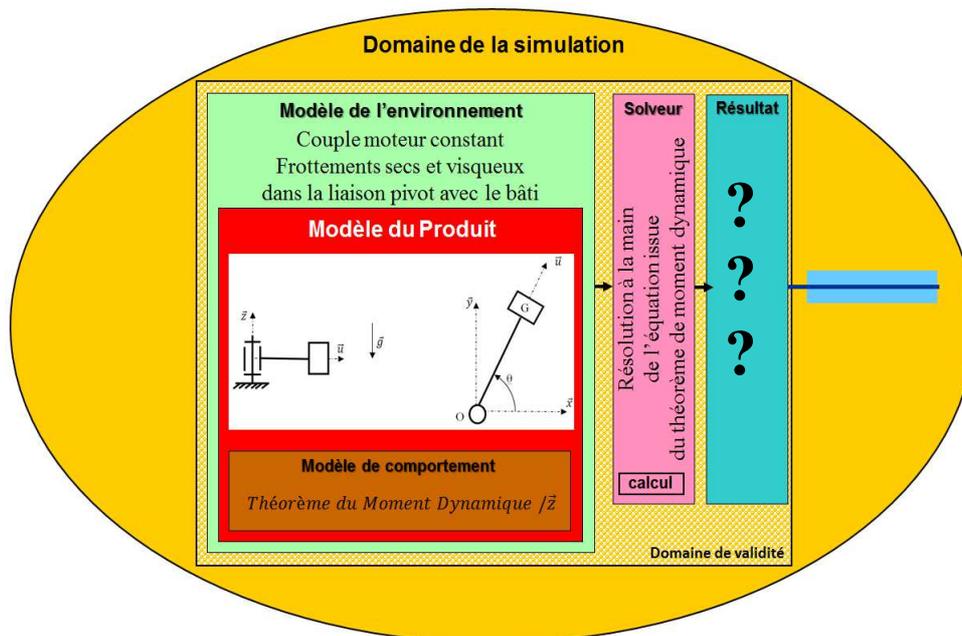
MODELISATION D'UNE MASSE EN ROTATION

L'objet de cette partie est de valider les modèles de comportement couramment utilisés en dynamique compte tenu des résultats expérimentaux précédents.

Le **modèle de produit** proposé est le suivant :



La modélisation est schématisée ci-dessous :



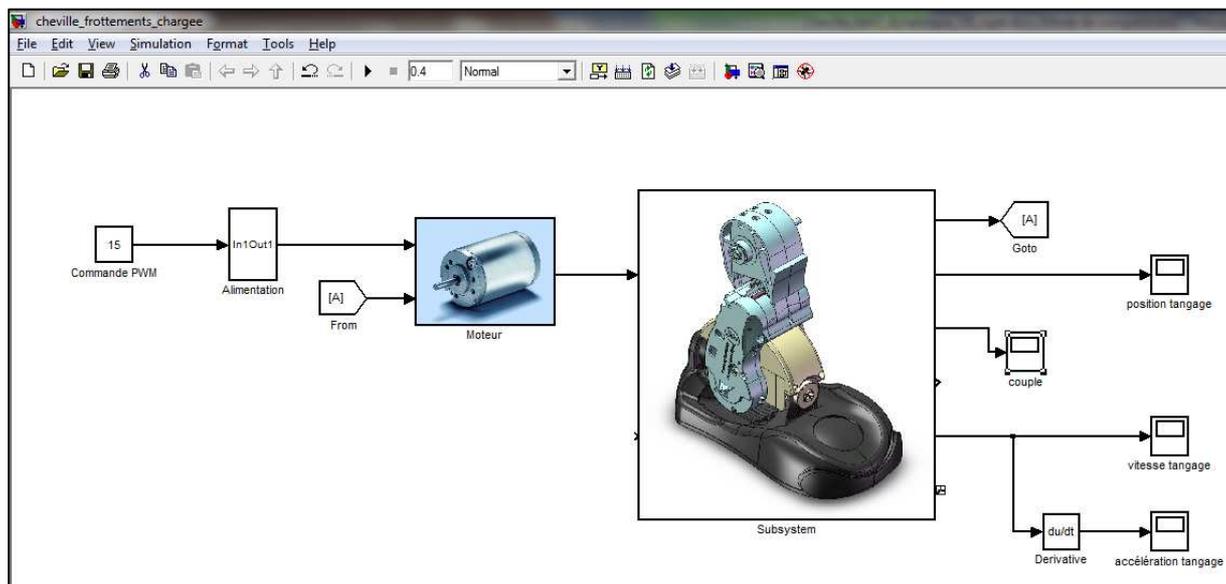
Q8: *Ecrire l'équation issue de la projection sur l'axe vertical du théorème du moment dynamique appliqué au solide en rotation.*

Q9: *Cette équation valide-t-elle, de façon qualitative, les résultats expérimentaux obtenus précédemment ?*

DIAGNOSTIC ENTRE LA SIMULATION ET LES MESURES AVEC SIMULINK

L'objet de cette partie est de simuler les performances de l'axe de tangage grâce au logiciel Simulink. La modélisation de la cheville est déjà réalisée, et elle prend en compte les phénomènes de frottements secs et visqueux.

Grâce à Simulink, il est possible de comparer les performances simulées en faisant varier le PWM avec celles mesurées précédemment ; la validation pourra ainsi être quantitative.



Lancer le logiciel Simulink et ouvrir la modélisation de la cheville (cheville_frottements_chargee.mdl).

Q10 : Régler la consigne moteur (PWM) entre (15 et 90) comme précédemment.

Observer le résultat ainsi simulé sur les graphes de vitesse, de position et d'accélération.

Conclure quant à la représentativité de cette modélisation.

On pourra tracer toutes les courbes sous excel en exploitant les données enregistrées par les graphes :

| Name | Value | Min | Max |
|--------------|-----------------|--------|--------|
| acceleration | <1x1 struct> | | |
| couple | <1x1 struct> | | |
| position | <1x1 struct> | | |
| tout | <1000x1 double> | 0.3001 | 0.4000 |
| vitesse | <1x1 struct> | | |