



# NAO Ankle Kit

---

<b>1. MODELE SINUSPHY</b>	<b>2</b>
<b>MODELISATION MECA3D</b>	<b>3</b>
<b>2. EXEMPLE DE SIMULATION</b>	<b>3</b>
<b>3. PILOTAGE SIMULTANE DU MODELE ET DE LA CHEVILLE REELLE</b>	<b>4</b>
<b>4. REPONSE A UNE ENTREE SINUSOÏDALE</b>	<b>4</b>
<b>5. CONSIGNE DE SUIVI DE TRAJECTOIRE, INFLUENCE DU CORRECTEUR</b>	<b>5</b>

---

## 1. MODELE SINUSPHY



La cheville est constituée de trois sous-ensembles, tibia, cheville et pied, liés par deux pivots d'axes orthogonaux, roulis et tangage, animés par des ensembles moteurs électriques et réducteurs à engrenages.

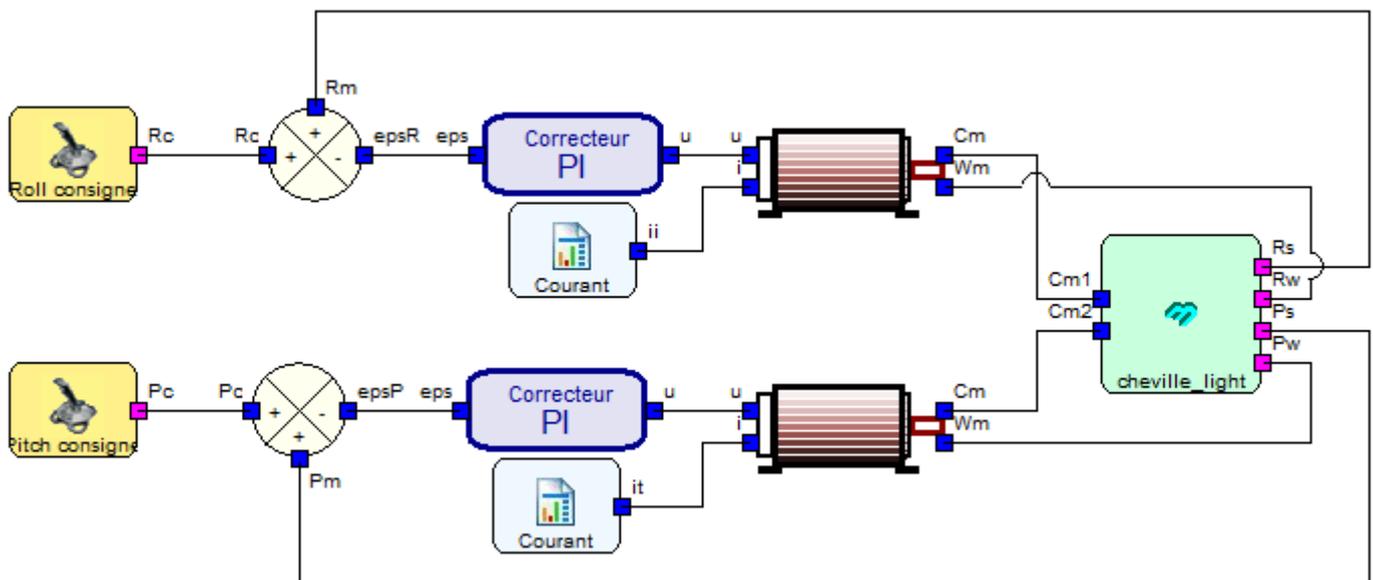
La commande asservie de ces sous ensembles permet de piloter avec précision la position de la cheville, de façon à permettre à NAO de marcher, danser, jouer au football...



Le NAO Ankle kit est modélisé avec Sinusphy pour permettre une simulation de son comportement.

La partie mécanique du modèle a été définie avec Méca3D pour permettre une étude dynamique du comportement.

Le schéma associé au modèle est représenté ci-dessous :



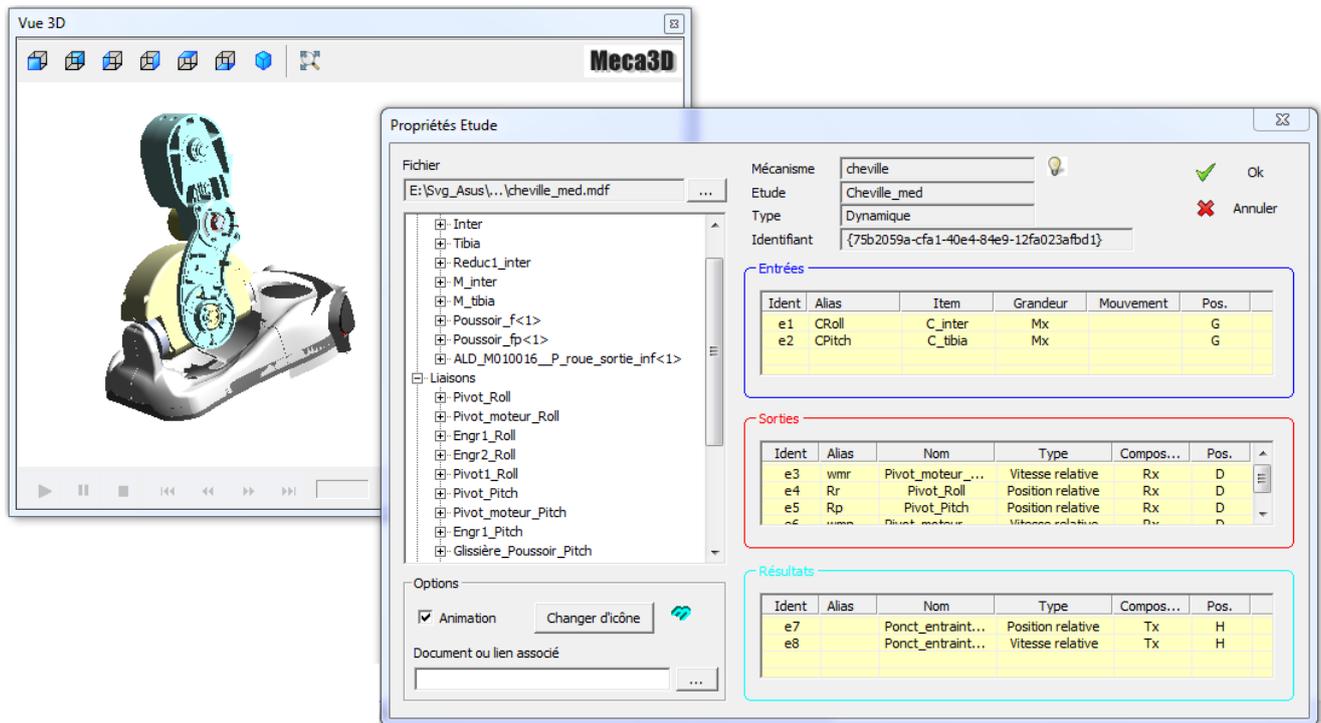
On distingue sur ce schéma les commandes de chacune des deux chaînes d'énergie associées aux mouvements de roulis et de tangage.

Chaque chaîne comporte, de gauche à droite :

- Le composant de pilotage permettant de définir la consigne ;
- Le comparateur de l'asservissement, qui compare la consigne et le retour mesuré ;
- Le correcteur de l'asservissement, de type PID (Proportionnel – Intégral – Dérivé), qui impose le niveau d'alimentation du moteur ;
- Le moteur électrique, modélisé par un moteur à courant continu

Le dernier composant, commun aux deux chaînes, est le modèle mécanique de la cheville, réalisé sous Solidworks – Méca3D. Il comprend les deux réducteurs à engrenages, et les trois pièces tibia, cheville et pied, ainsi que les liaisons entre ces éléments, et les actions extérieures (pesanteur, effort sur le tibia, frottement...).

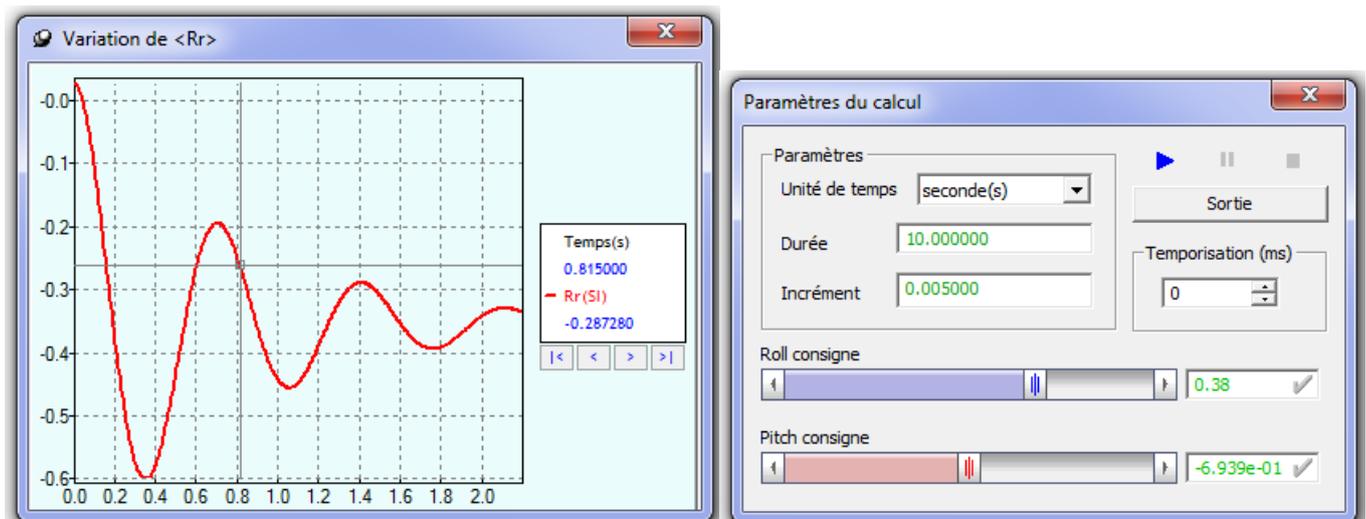
## Modélisation Méca3D



## 2. EXEMPLE DE SIMULATION

La fenêtre ci-dessous représente une simulation de la réponse de la cheville à une entrée en échelon sur son axe de tangage. La valeur de consigne est de  $-0,35$  rad. On observe plusieurs dépassements successifs, et un comportement pseudopériodique caractéristique d'un système peu amorti.

Ce comportement peut être modifié en jouant sur les paramètres de l'asservissement (gains du correcteur), ou sur les propriétés électromécaniques de la cheville : constantes du moteur, masses, inerties, frottement...



A noter que le pilotage aux niveaux des entrées peut être réalisé sous plusieurs formes :

- Commandes standard de type échelon, rampe, sinus...
- Loi temporelle en fonction du temps quelconque, définie par une courbe ;
- Action interactive au moyen de curseurs commandés avec la souris, et aussi par l'intermédiaire d'un joystick.

### 3. PILOTAGE SIMULTANE DU MODELE ET DE LA CHEVILLE REELLE

Sinusphy offre un composant spécifique qui permet de piloter la cheville réelle via une interface série-USB. Par ce moyen, il est possible d'observer et de comparer les réponses et les comportements du système réel et de son modèle soumis à une même entrée.

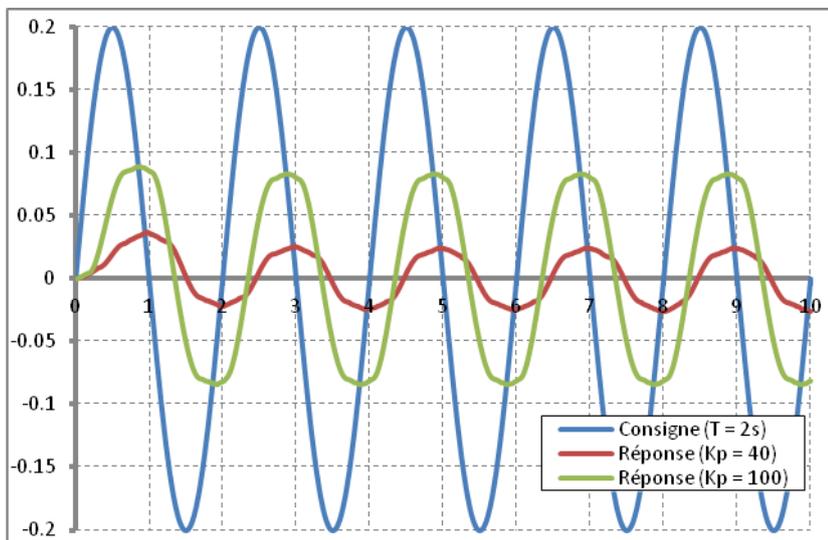
### 4. REPONSE A UNE ENTREE SINUSOÏDALE

Sinusphy offre la possibilité d'étudier le comportement de la cheville soumis à une entrée sinusoïdale sur l'un de ses axes. On peut mettre en évidence de cette façon les deux phénomènes de modification de l'amplitude, et de déphasage de la sortie.

La figure ci-dessous montre le résultat obtenu pour une consigne sinusoïdale sur l'axe de tangage d'amplitude 0,2 rad, et de période 2 s.

Deux simulations ont été effectuées, avec un gain  $K_p$  de 40, puis de 100.

On observe une sortie quasi sinusoïdale, la légère perturbation étant due au frottement.



## 5. CONSIGNE DE SUIVI DE TRAJECTOIRE, INFLUENCE DU CORRECTEUR

La présence de deux axes sur la cheville (roulis et tangage) **permet de commander simultanément les deux mouvements**. On peut de cette façon forcer la partie supérieure du tibia à suivre une **trajectoire imposée**, en définissant les mouvements des deux axes par des courbes en fonction du temps.

Dans l'illustration ci-dessous ont été définies deux fonctions sinusoïdales de même amplitude (0,35 rad) mais déphasées de  $\pi/2$ , ce qui revient à définir une trajectoire circulaire.

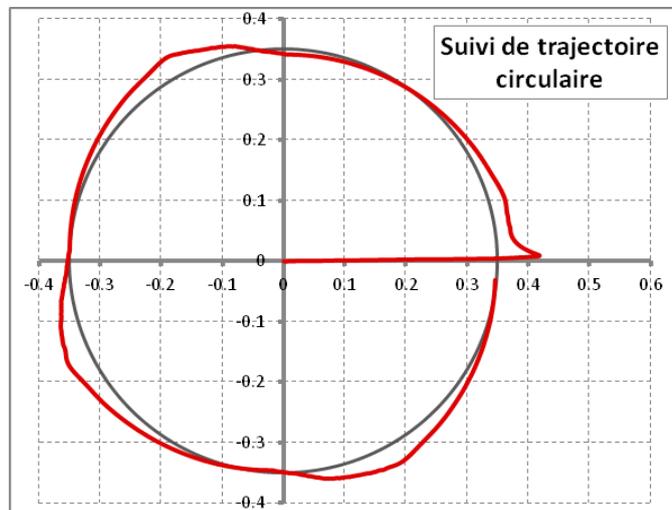
Les figures représentent les réponses du modèle et de la cheville réelle à une entrée de ce type, pour une valeur donnée du gain proportionnel  $K_p$ .

Dans le cas du système réel, on observe des écarts importants entre les trajectoires souhaitées et réalisées, du fait d'un frottement important dans les liaisons, qui s'oppose au déplacement. On observe un phénomène similaire sur le modèle simulé, qui ne prend en compte qu'un frottement visqueux dont l'influence reste limitée du fait de vitesses mises en jeu modérées.

On constate par ailleurs que l'augmentation du gain  $K_p$  améliore la qualité du suivi de trajectoire, aussi bien sur la cheville réelle que sur la simulation



Résultat expérimental



Résultat de la simulation