

Cinématiquement et dynamiquement, le robot doit être capable de se déplacer plus ou moins rapidement, et de se relever. On s'intéresse ici à la modélisation de la cheville dans le cadre de la marche du robot.

On s'intéresse ici à la marche de NAO et en particulier au fonctionnement de l'ensemble pied – cheville – tibia qui sera nommé « cheville NAO ». Pour cela on dispose d'un système didactisé et de son modèle multiphysique.

The diagram shows a white humanoid robot with blue accents. A red circle highlights the gripper on its right arm, with a red arrow pointing to a detailed view of the gripper mechanism. The detailed view shows a blue gripper with two fingers and a central actuator. The labels 'Roulis' and 'Tangage' are present.

Pour répondre à cette question, on souhaite disposer d'un modèle multiphysique fiable, permettant de minimiser le nombre d'essais à réaliser sur le système.

## 1 DECOUVERTE – MANIPULATION – OBSERVATION – DESCRIPTION

### Objectif 1: S'approprier le fonctionnement de la cheville NAO – 15 minutes

Cette première partie nécessite la lecture préalable des fiches : « Fonctionnement », « Acquisition » et « Ingénierie Systèmes ».

#### Activité 1

Mettre en service la cheville NAO en réalisant des essais dans les conditions expérimentales suivantes :

- ☐ asservissement « cheville » ;
- ☐ réglage du correcteur :  $K_p = 200$ ,  $K_i = 0$  ;
- ☐ consigne de tangage : sinus d'amplitudes  $5^\circ$  et de périodes 0,54s puis 2,16s;
- ☐ consigne de roulis : aucune ;
- ☐ tracer la consigne et l'angle réducteur de l'axe de tangage.

Justifier les valeurs de l'amplitude et des périodes de la consigne en utilisant le diagramme des exigences.

#### Activité 2

Préparer une synthèse orale décrivant le fonctionnement de la cheville et de ses constituants. Vous pourrez vous appuyer sur la représentation de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie.

### Objectif 2: valider les choix technologiques du constructeur – Durée estimée : 5 min

#### Activité 3

La résolution du capteur utilisé permet-elle de s'assurer que l'exigence 1.2.4.1 est vérifiée ?

## 2 APPROPRIATION DE LA PROBLEMATIQUE

### Objectif 3 : s'approprier la problématique – Durée : 15 min.

Rappel : on souhaite connaître l'aptitude du robot NAO à marcher à allure faible et à allure rapide. Pour cela on souhaite disposer d'un modèle multiphysique fidèle au support réel.

#### Activité 4

- ☐ Commenter l'allure des courbes réalisées dans l'activité 1. Quelle peut être l'origine des écarts entre l'angle de consigne et l'angle mesuré ?
- ☐ En vous aidant éventuellement des activités proposées dans ce sujet, proposer une démarche permettant de faire en sorte que le robot NAO puisse marcher selon les modalités du cahier des charges. Vous pourrez en particulier préciser l'utilité que peut avoir un modèle multiphysique

## 3 ENRICHISSEMENT DU MODELE MULTIPHYSIQUE

### Objectif 4 : – Durée : 15 minutes

Cette première partie nécessite la lecture préalable des fiches : « Acquisition » et « Simulation ».

Afin de valider le modèle multiphysique, on se propose dans un premier temps d'analyser des réponses du système à un échelon. Réaliser les essais suivants sur le système :

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Amplitude échelon (degrés)	5	20	10	10	10
Correcteur proportionnel $K_p$	200	200	200	1000	1500

#### Activité 5

Déterminer l'écart statique et le temps de réponse du système. Les exigences 1.2.4.1 et 1.2.4.2 sont-elles satisfaites ? Que dire de l'influence du gain  $K_p$  sur les performances du système ?

Ouvrir le modèle « ChevilleNAO\_Complete.slx ».

#### Activité 6

Décrire le modèle multiphysique. Vérifier que les conditions de simulation sont les mêmes que les conditions expérimentales. Réaliser les mêmes essais qu'à la question précédente. Confronter les résultats expérimentaux et les résultats issus de la simulation.

**Objectif 5 Proposer des essais permettant de caractériser les frottements – Durée : 20 minutes**

**Activité 7**

Le logiciel de mesure permet-il d'avoir accès au couple fourni par le moteur ? Quelle est l'unité physique du coefficient de frottement visqueux ? Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier les effets du frottement visqueux ou du frottement sec. Comment pourrait-on prendre en compte le frottement dans le modèle ?

On choisit d'ajouter dans le modèle un bloc *Rotation friction* dans lequel on renseigne un couple d'adhérence de 5 mNm (*Breakaway friction torque*) et un couple de frottement en utilisant le modèle de Coulomb de 5 mNm (*Coulomb friction torque*). – Pour cela décommenter le bloc sur le modèle –

**Activité 8**

En utilisant la documentation, modifier le modèle et observer l'évolution de la position de la cheville.

## 4 VALIDATION DU MODELE MULTIPHYSIQUE

**Objectif 6 Valider le modèle – Durée : 20 minutes**

**Activité 9**

- ☐ Modifier le modèle pour simuler le comportement de la cheville en marche lente puis en marche rapide. Les résultats des simulations reflètent-ils le comportement réel de la cheville
- ☐ Quelles modifications supplémentaires pourrait-on apporter au modèle pour obtenir un modèle plus complet ?

## 5 SYNTHESE

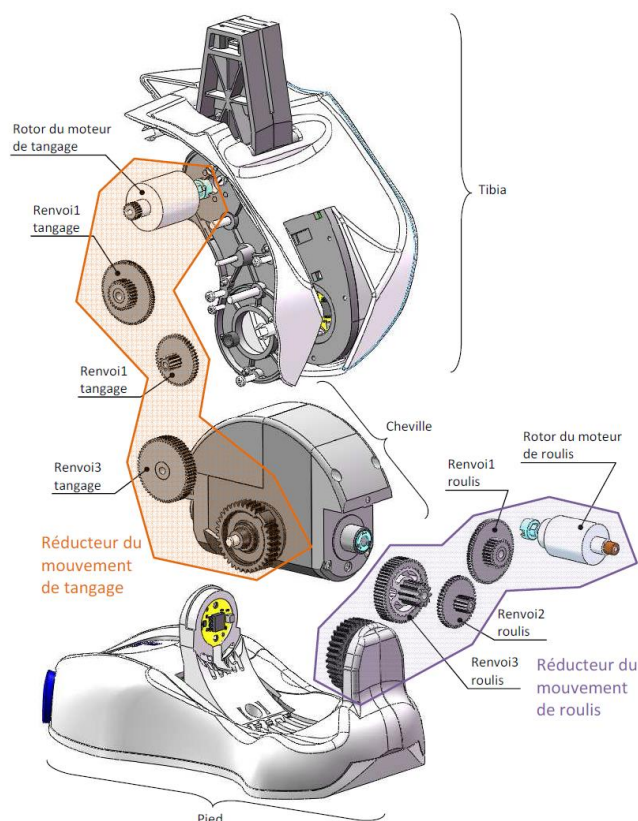
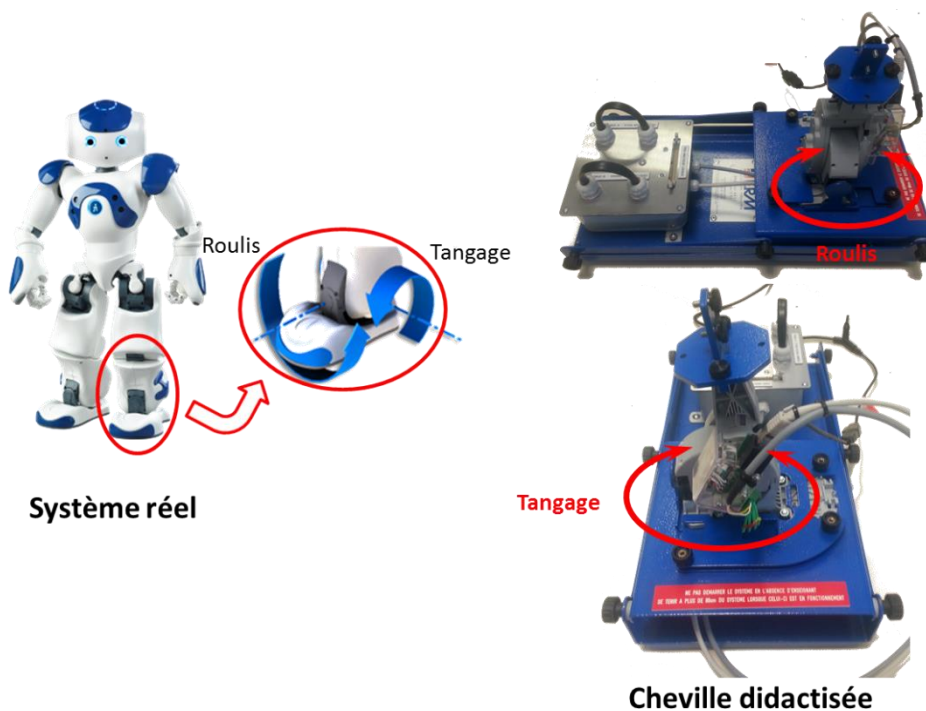
**Objectif 7 Exposer clairement le travail effectué – Durée : 10 minutes**

**Activité 9**

- ☐ Proposer un poster présentant une synthèse de votre travail. Sur ce poster devront apparaître les éléments clé abordés précédemment ainsi que la démarche scientifique mise en œuvre pour répondre à la problématique. Les outils de communication nécessaires à sa rédaction sont laissés à votre initiative.

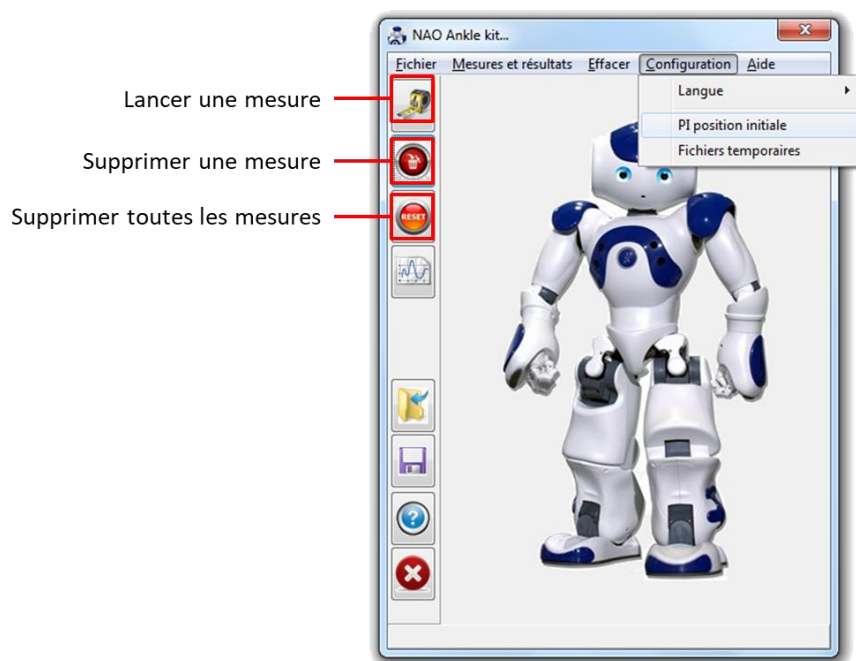
## 6 FICHE FONCTIONNEMENT : MISE EN ŒUVRE DE LA CHEVILLE NAO ET MESURE

### 6.1 Description générale




### 6.2 Lancement du logiciel

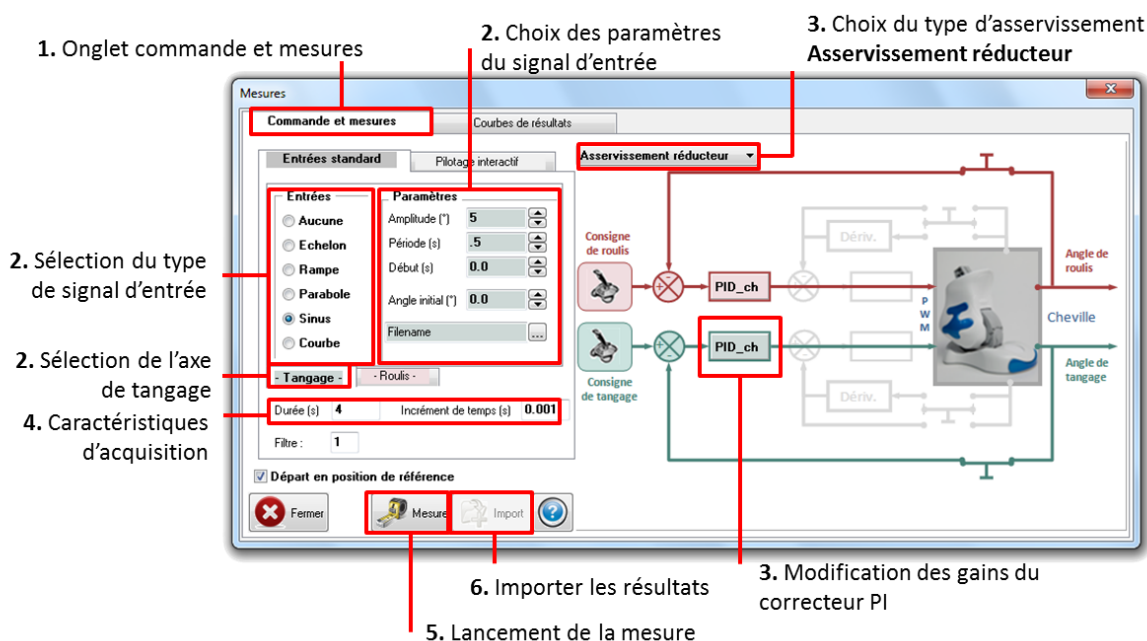
1. Lancer le logiciel NAO Ankle kit disponible sur le bureau.



## 7 FICHE ACQUISITION

### 7.1 Réalisation d'une acquisition

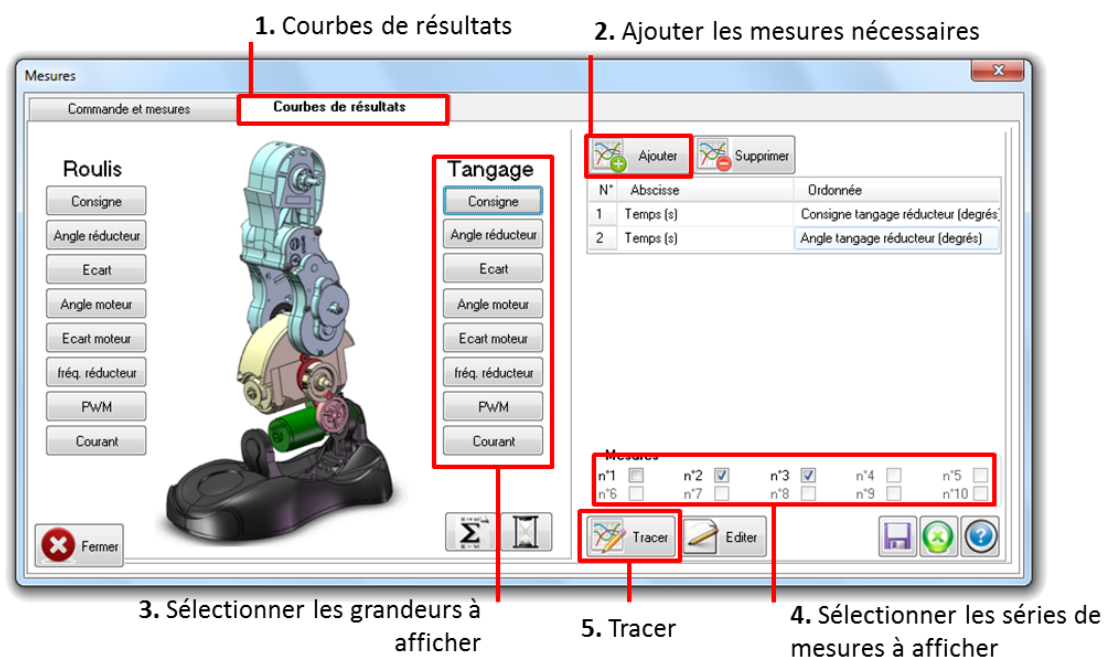
0. Pour réaliser une mesure, cliquer sur l'icône de mesure .
1. Choisir l'onglet de commande et mesures.
2. Sélectionner l'axe souhaité et paramétrer le signal d'entrée.
3. Choisir le type d'asservissement et les gains du correcteur PI.
4. Choisir les caractéristiques de l'acquisition
5. Lancer la mesure.
6. Importer les résultats.



### 7.2 Visualisation d'une mesure

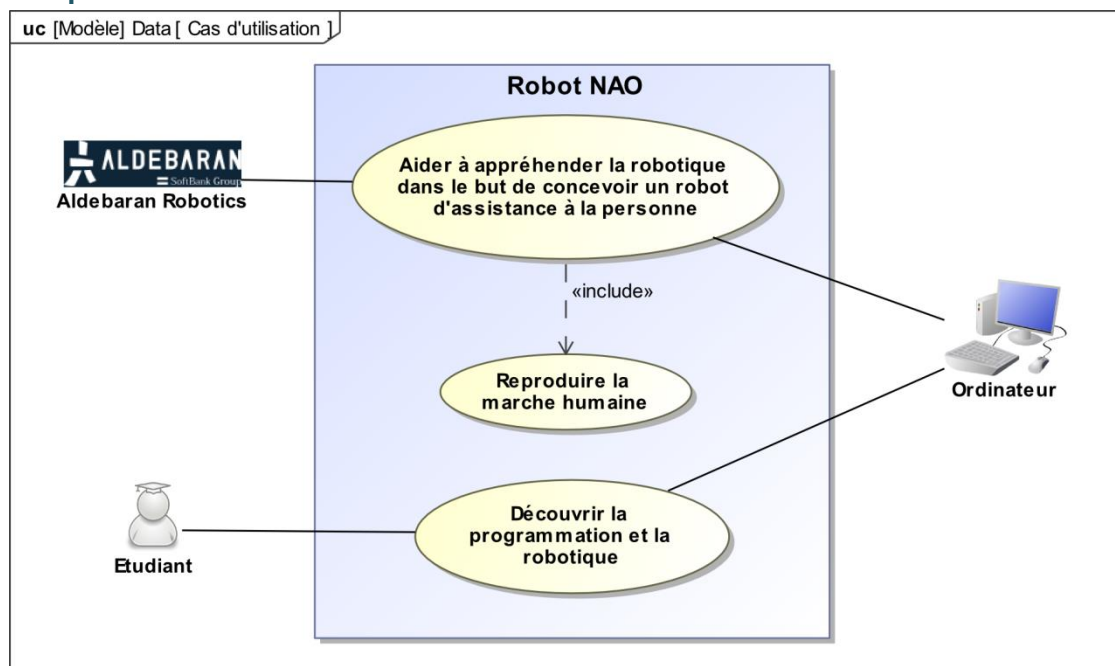
1. Sélectionner l'onglet « courbes de résultats ».
2. Ajouter le nombre de courbes nécessaire.

3. Sélectionner la grandeur à afficher.
4. Sélectionner les séries de mesures à afficher.
5. Tracer les courbes.



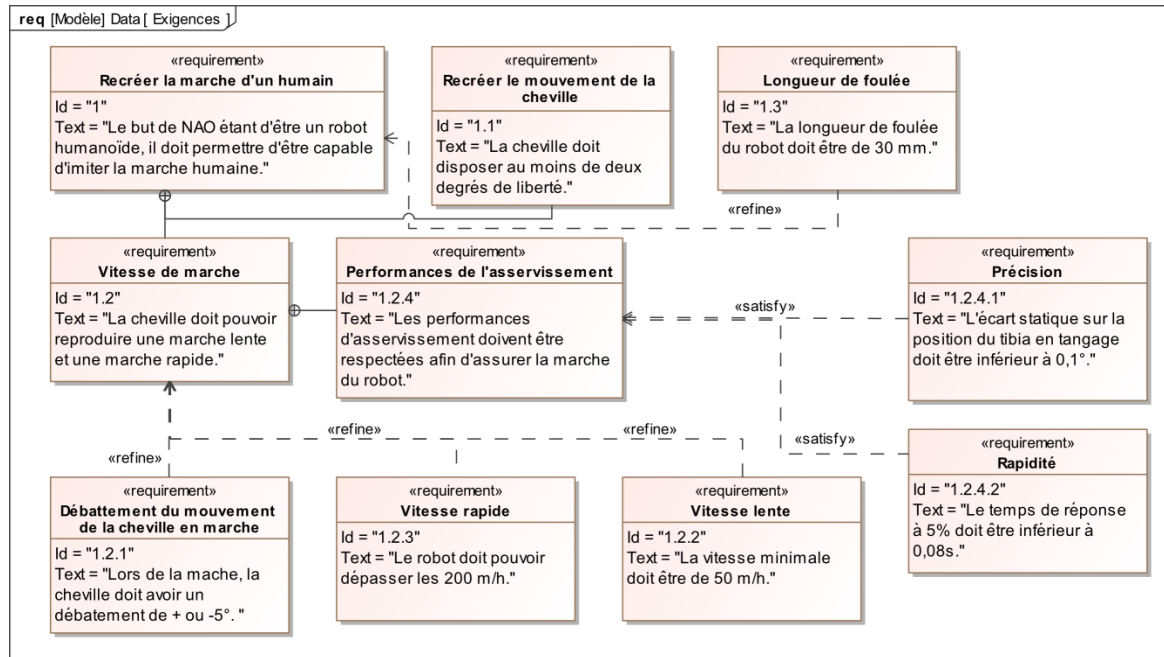
## 8 FICHE INGENIERIE SYSTEMES

### 8.1 Diagrammes partiels des cas d'utilisation

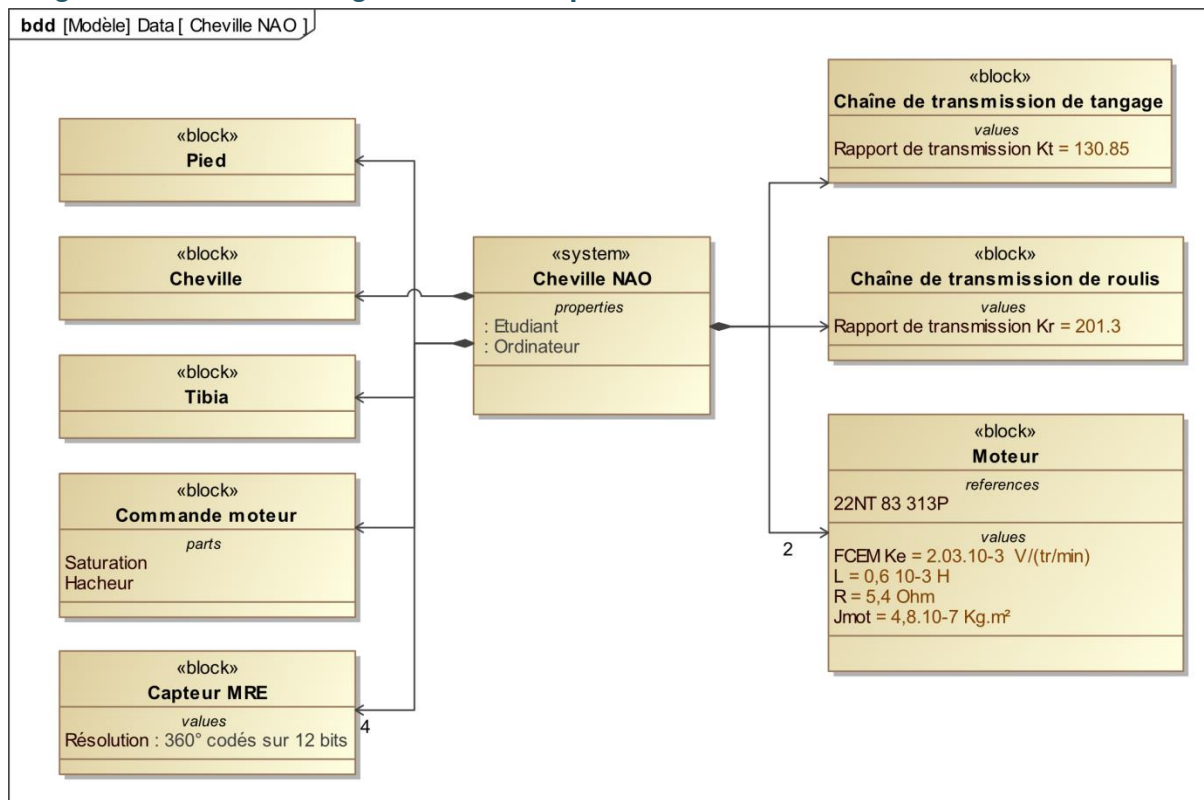




## 8.2 Diagramme partiel des exigences

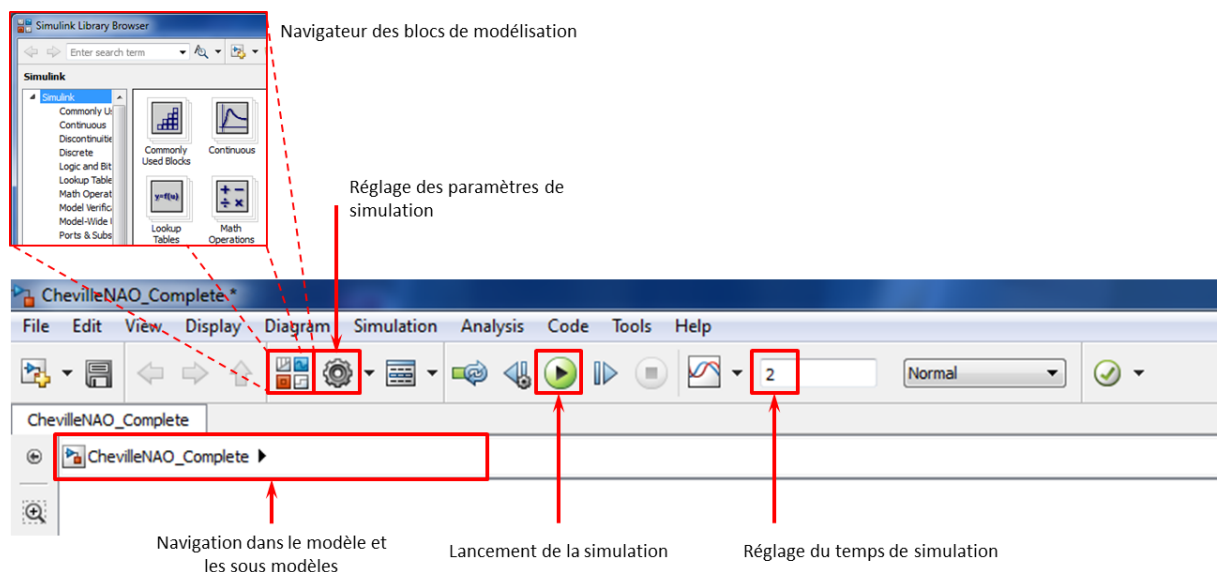


## 8.3 Diagramme de bloc et diagramme interne partiels



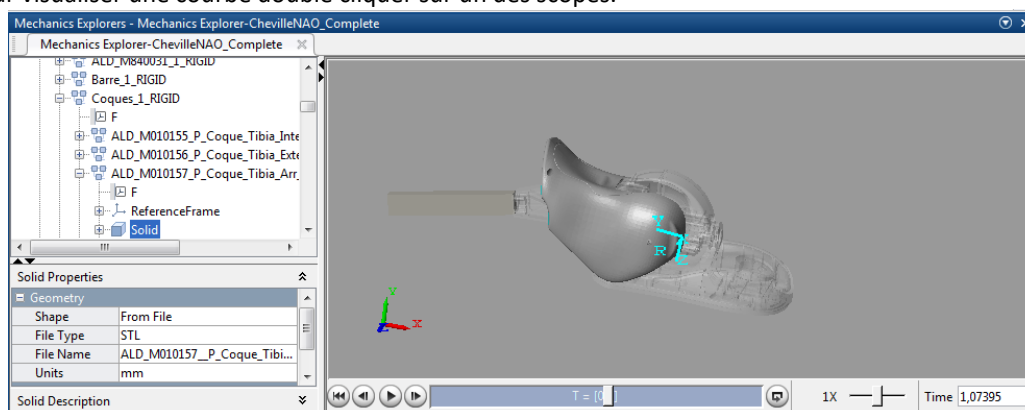
## 9 FICHE SIMULATION : UTILISATION DE MATLAB – SIMULINK

### 9.1 Fenêtres Matlab-Simulink

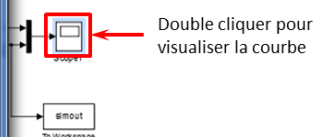
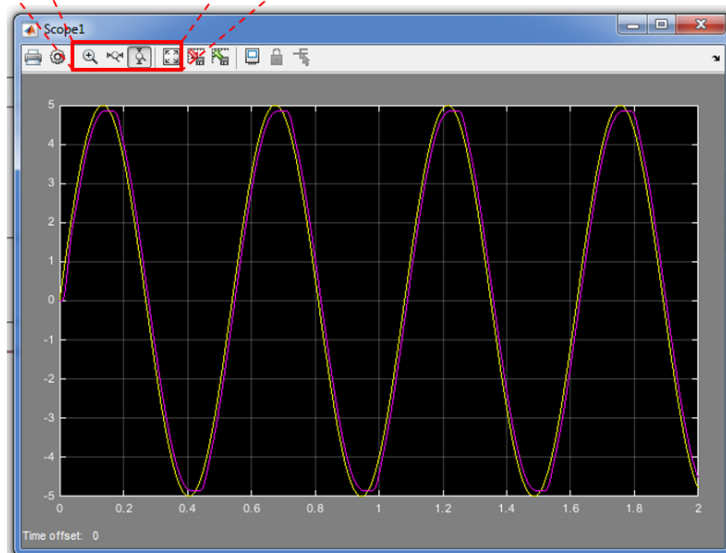


### 9.2 Lancement d'une simulation

Pour lancer une simulation appuyer sur le triangle vert. Il est possible d'observer dans la fenêtre Matlab le comportement de la cheville. Pour visualiser une courbe double cliquer sur un des scopes.




1. Zoom
2. Zoom horizontal
3. Zoom vertical
4. Affichage de la courbe en pleine échelle (INDISPENSABLE)





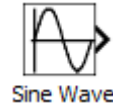
### 9.3 Ajouter / Modifier des blocs

Pour ajouter les blocs, il faut ouvrir le Simulink Library Browser .

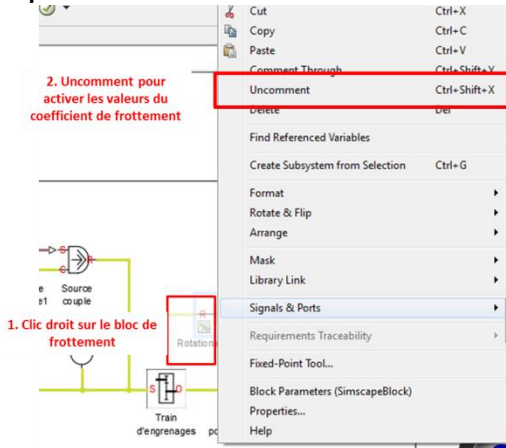
#### Modification d'une entrée sinusoïdale :

Attention, il faut indiquer la **pulsation** dans le champ frequency.

Simulink ► Sources ► Sine Wave



#### Débloquer le bloc de frottement en rotation :



#### Rotational Friction

- **C** : port à relier à la référence mécanique;
- **R** : port à relier à la connexion qui subit le frottement.

Paramètres du bloc :

- *breakaway friction force* : couple à partir duquel le mouvement commence ;
- *coulomb friction force* : couple de frottement qui s'exerce pendant le mouvement ;
- *viscous friction coefficient* : coefficient de frottement visqueux (négligé ici :  $10e-10$ ).