

CHEVILLE DU ROBOT NAO

DOCUMENTS
RESSOURCES

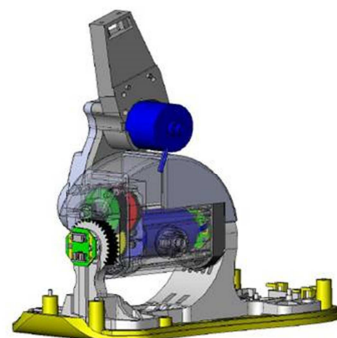


Table des matières

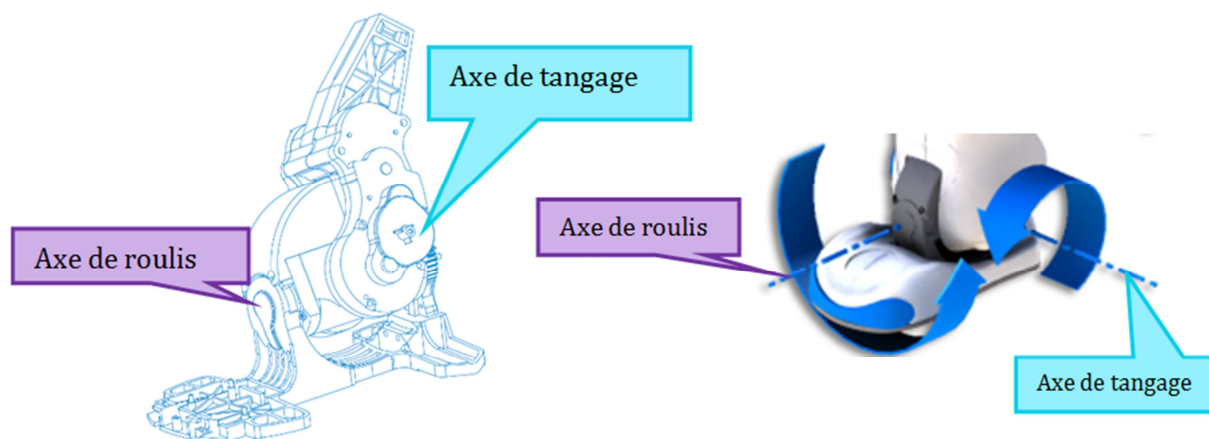
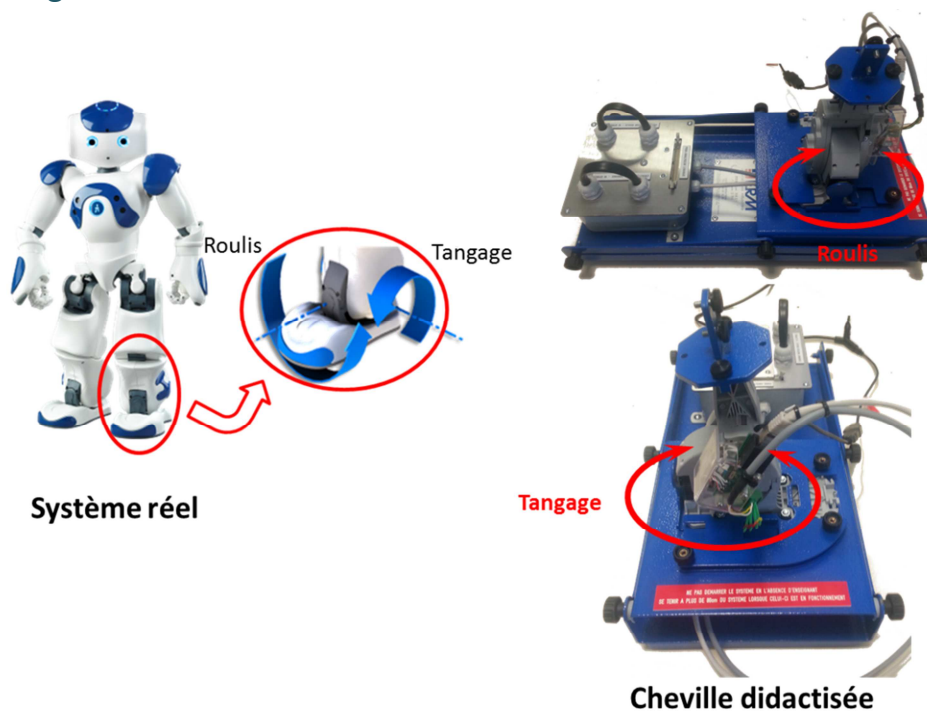
2

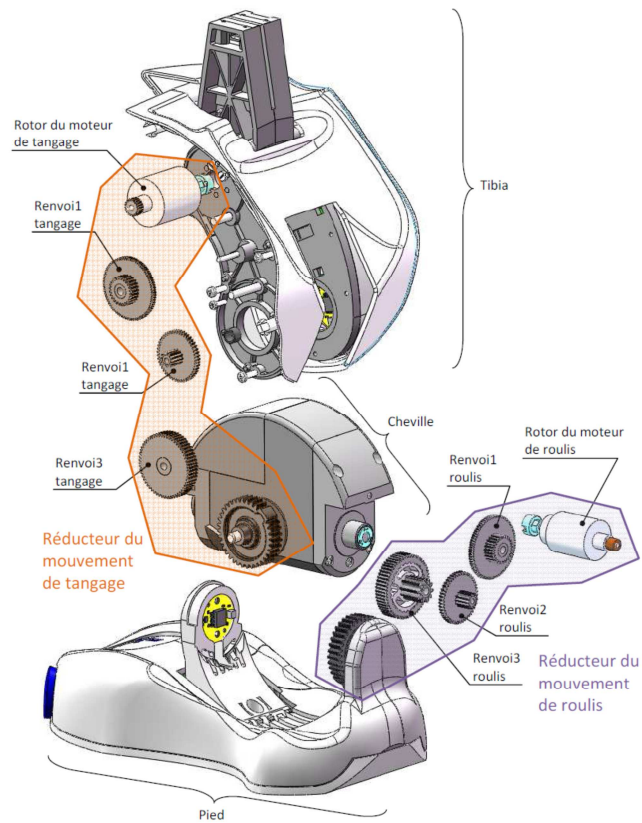
Fiche 1	Présentation Générale.....	3
	Description générale	3
Fiche 2	Mise en service de la cheville	5
	Lancement du logiciel	5
Fiche 3	Ingénierie Systèmes.....	7
	Diagramme des cas d'utilisation	7
	Diagramme partiel des exigences	8
	Diagramme de bloc et diagramme interne partiels	9
Fiche 4	Réalisation de mesures.....	6
	Réalisation d'une acquisition	6
	Visualisation d'une mesure	6
Fiche 5	Description structurelle et technologique.....	10
	Chaîne d'énergie	10
	Fonction Convertir	10
	Fonction Transmettre	12
	Fonction Distribuer (Hacheurs)	15

Fonction Distribuer (Régulateur)	16
Fonction Alimenter (Alimentation)	17
Chaine d'information	18
Organisation de la chaine d'information	18
Fonction Traiter	18
Fonction Acquérir (Courant)	20
Fonction Acquérir (Position)	21
Fonction Communiquer (hacheurs)	25
Fonction Communiquer (RS485)	25
Saturations	27

Fiche 1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Description générale

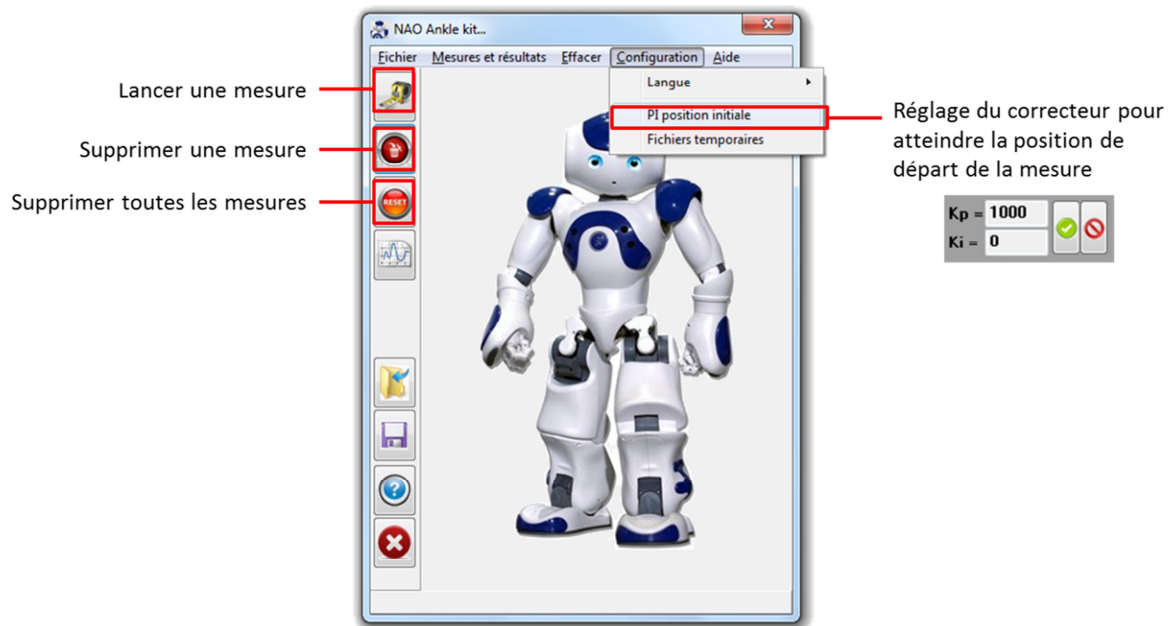




Fiche 2 MISE EN SERVICE DE LA CHEVILLE

Lancement du logiciel

1. Lancer le logiciel NAO Ankle kit disponible sur le bureau.
2. Vérifier que le PI en position initiale est bien aux valeurs indiquées ci-dessous (à vérifier en début de TP uniquement).



Fiche 3 RÉALISATION DE MESURES

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.

1. Onglet commande et mesures

2. Choix des paramètres du signal d'entrée

3. Choix du type d'asservissement

Asservissement réducteur

2. Sélection du type de signal d'entrée

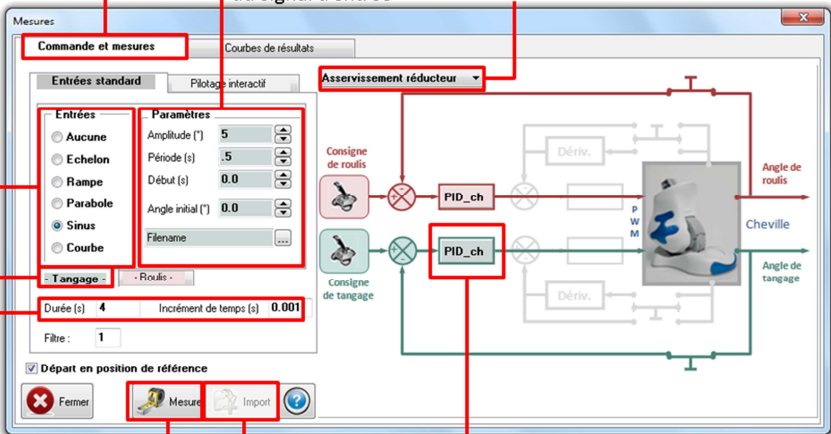
2. Sélection de l'axe de tangage

4. Caractéristiques d'acquisition

6. Importer les résultats

5. Lancement de la mesure

3. Modification des gains du correcteur PI



Visualisation d'une mesure

- Sélectionner l'onglet « courbes de résultats ».
- Ajouter le nombre de courbes nécessaire.
- Sélectionner la grandeur à afficher.
- Sélectionner les séries de mesures à afficher.
- Tracer les courbes.

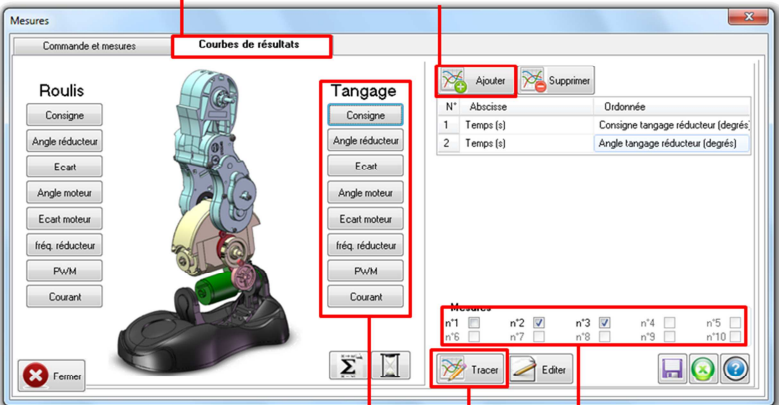
1. Courbes de résultats

2. Ajouter les mesures nécessaires

3. Sélectionner les grandeurs à afficher

5. Tracer

4. Sélectionner les séries de mesures à afficher



Fiche 4 INGÉNIERIE SYSTÈMES

Diagramme des cas d'utilisation

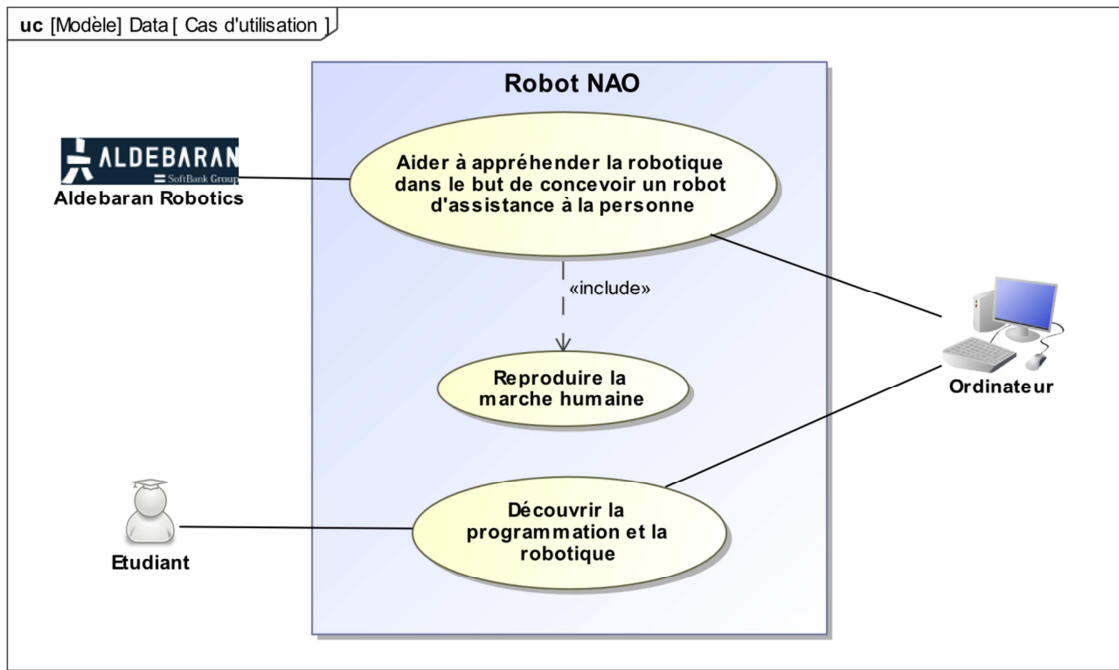


Diagramme partiel des exigences

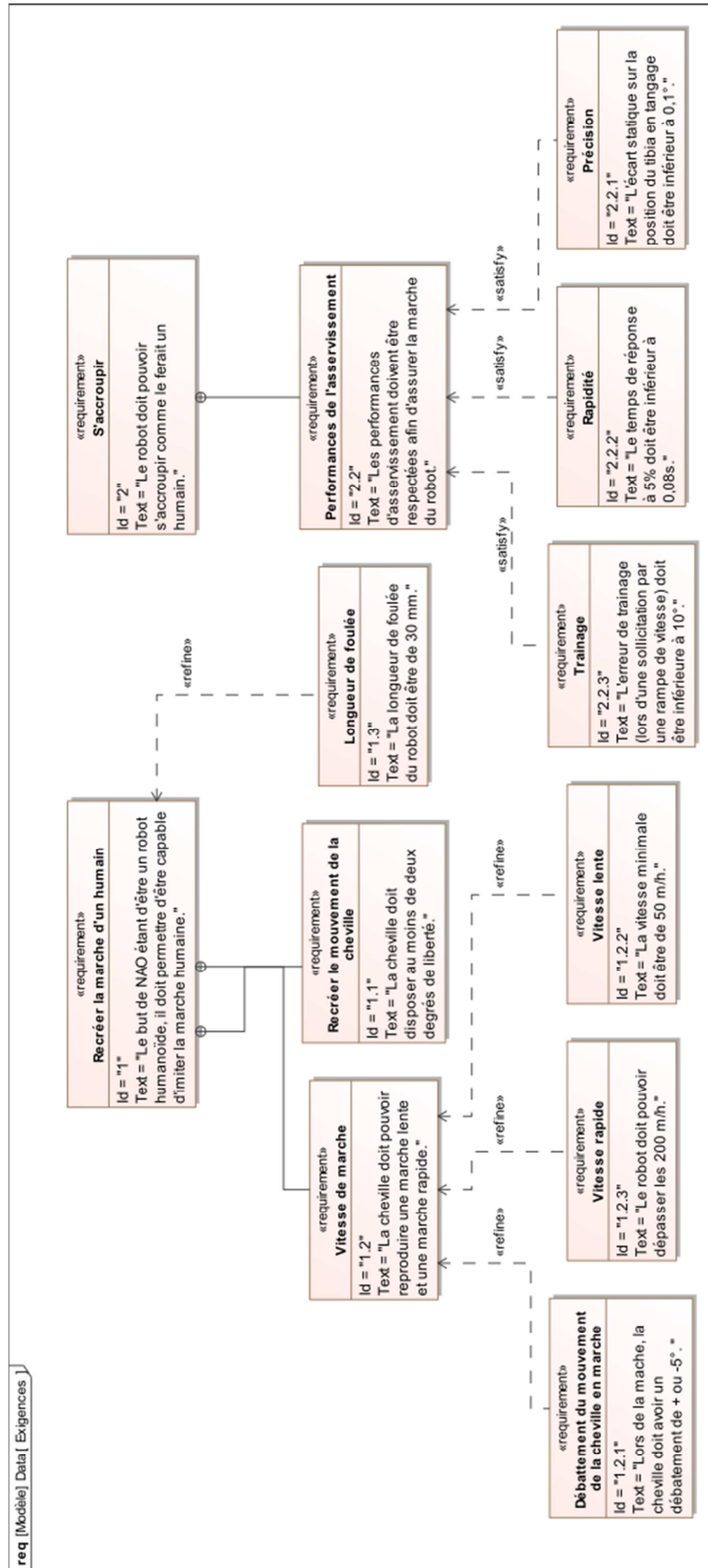
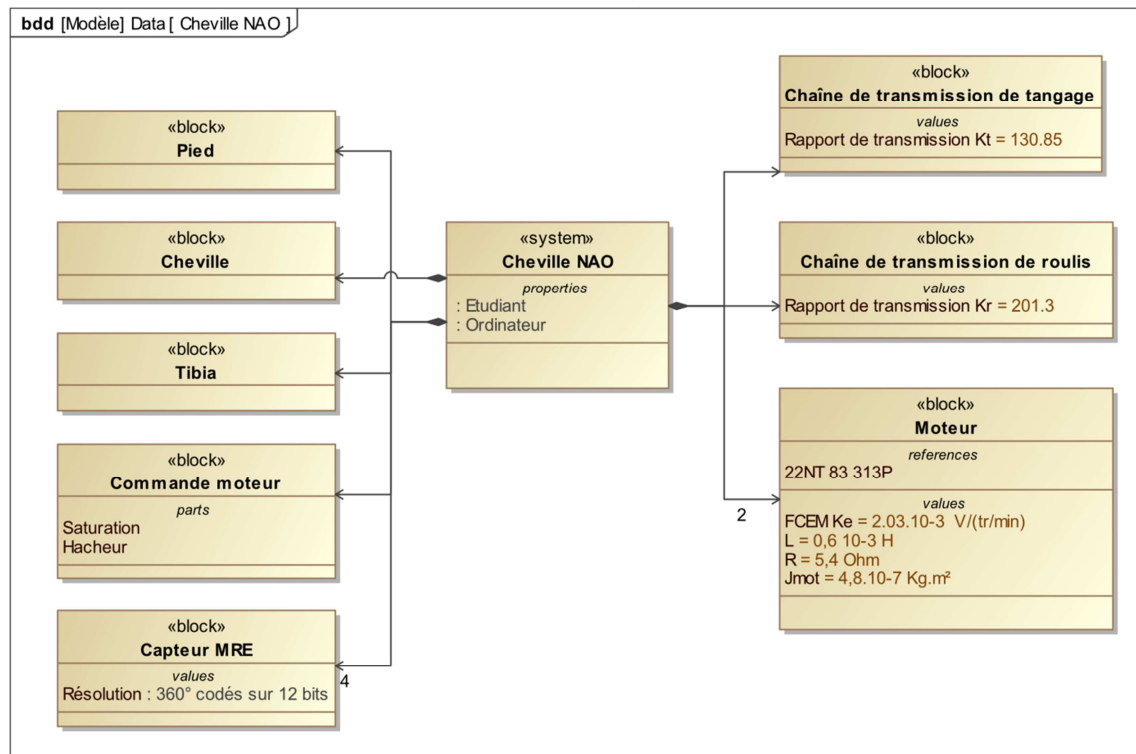
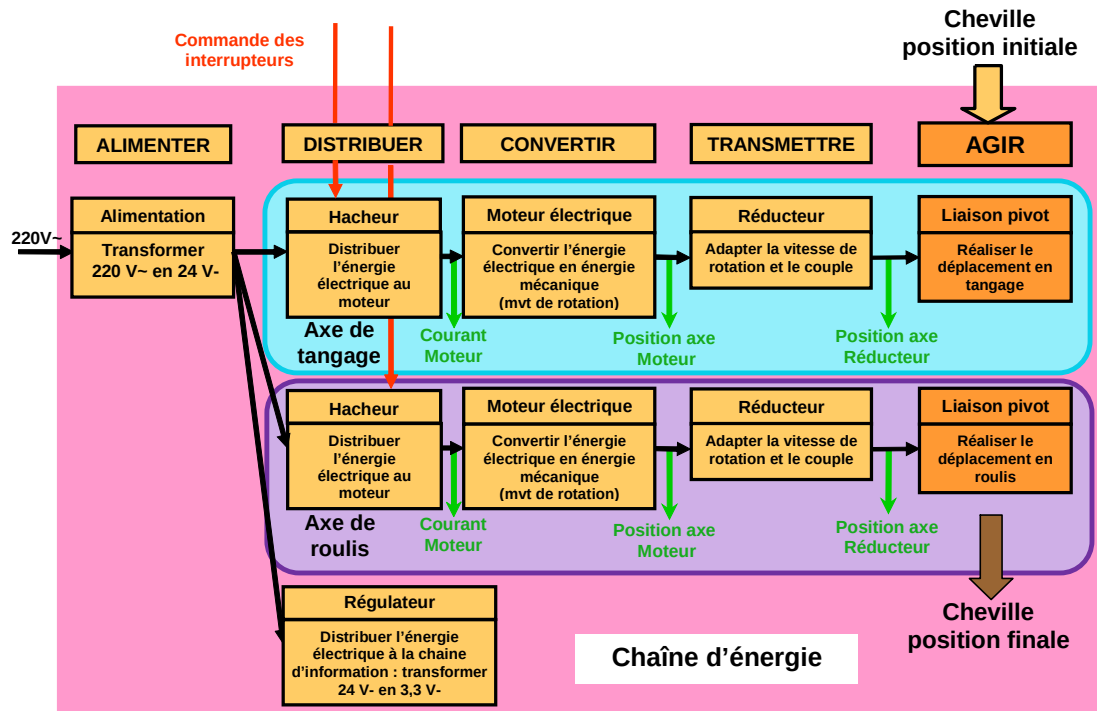


Diagramme de bloc et diagramme interne partiels

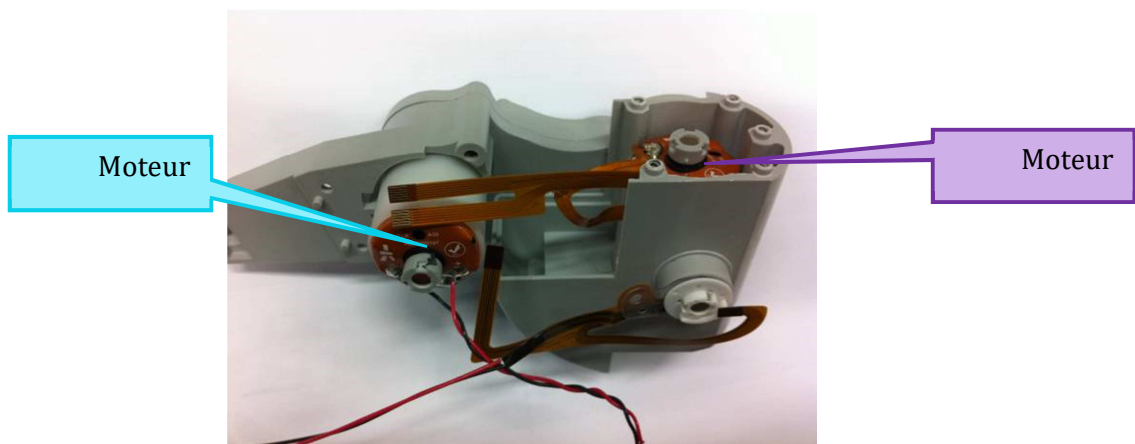


Fiche 5 DESCRIPTION STRUCTURELLE ET TECHNOLOGIQUE

Chaîne d'énergie



Fonction Convertir



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

Portescap

MOTOR TYPE Brush DC Coreless

Model	22NT82213P
Number	×2
No load speed	8300 rpm ±10%
Stall torque	68 mNm ±8%
Continuous torque	16.1mNm max

Product Designation 22NT 82 213P 1001

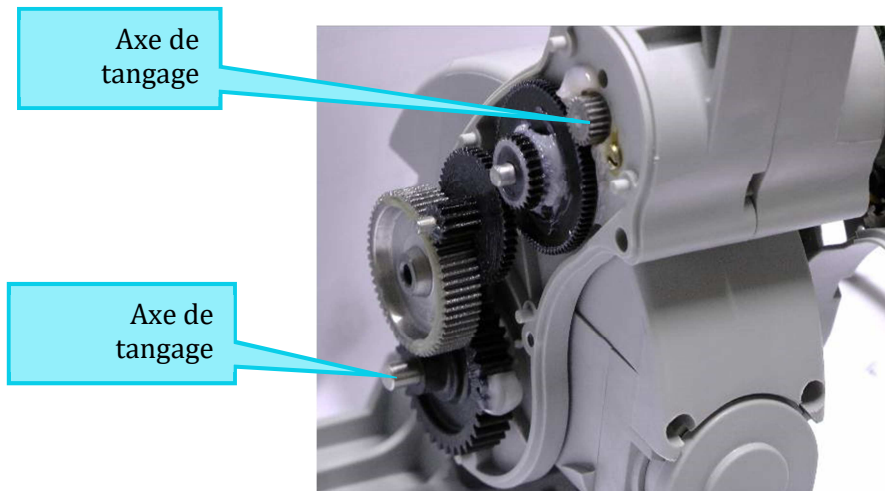
09/10

Portescap

Specification	unit	value	tolerance
Measured values			
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%
Recommended values			
10 Continuous current (at 22°C)	A	0.92	max
11 Continuous torque	mNm	16.1	max
12 Angular acceleration	10 ³ rad/s ²	181	max
13 Ambient working temperature range	°C	-30°C to 65°C	typical
14 Rated coil temperature	°C	155	max
Intrinsic parameters			
20 Back-EMF constant	V/1000 rpm	2.03	±8%
21 Torque constant	mNm/A	19.4	±8%
22 Motor regulation R/k ₂	10 ³ /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 ² 10 ⁻⁷	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

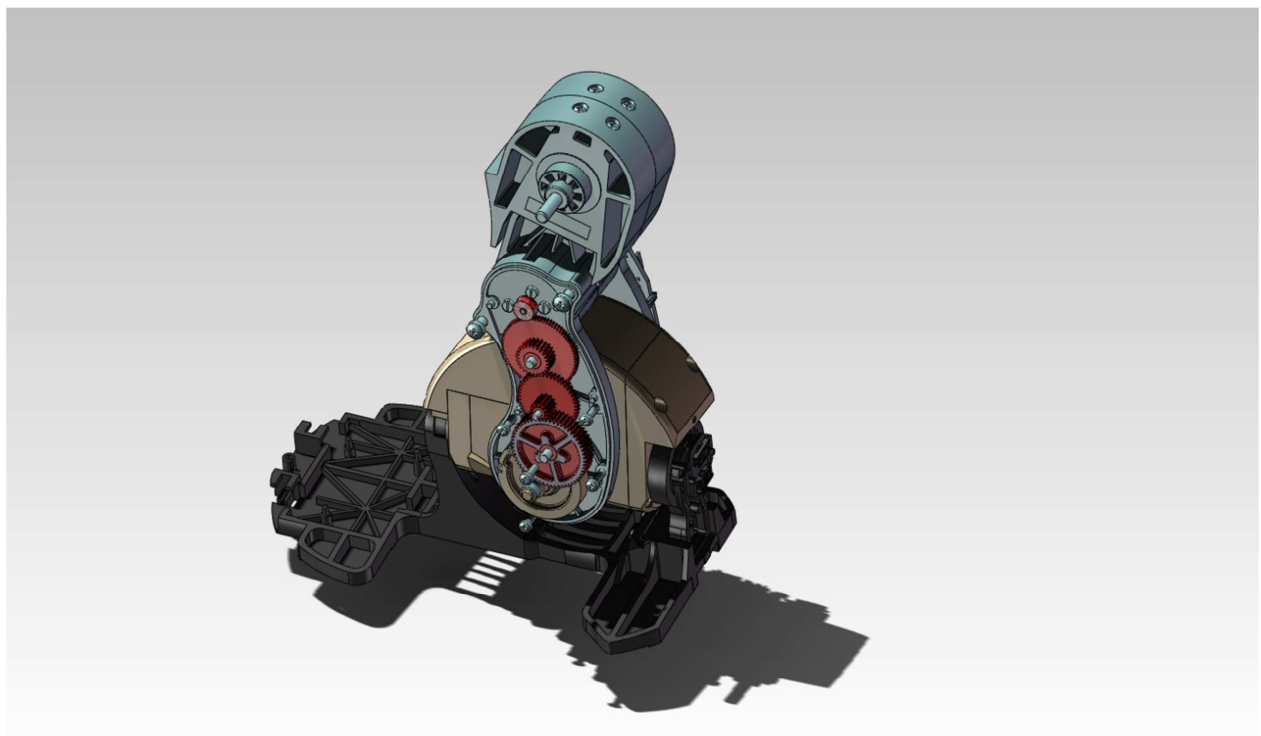
SPEED REDUCTION RATIO ANKLEROLL

Reduction ratio 201.3

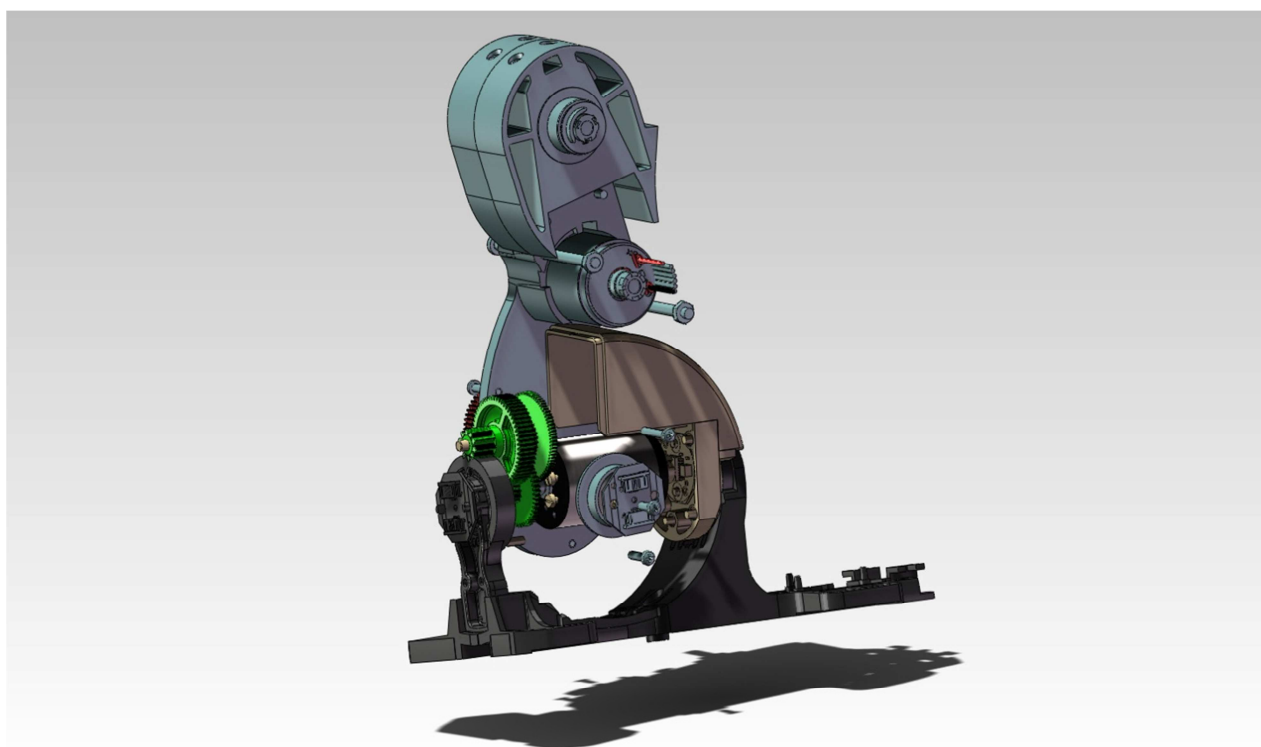
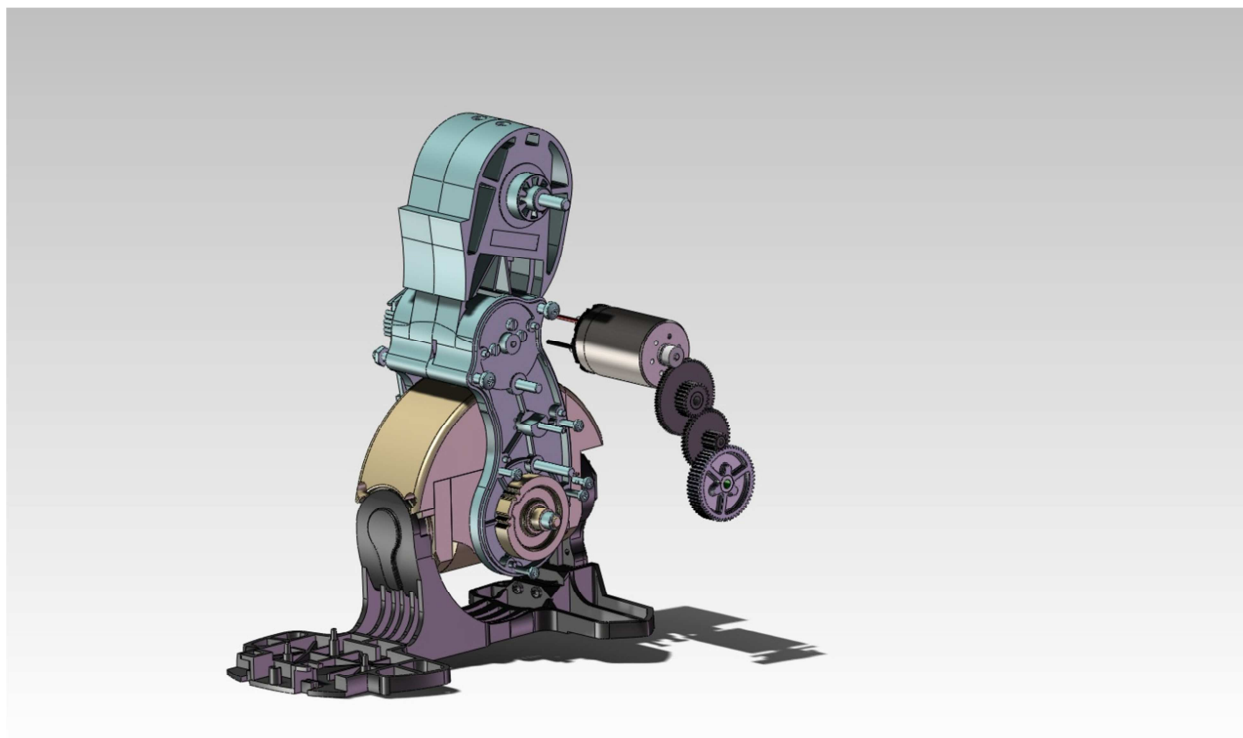
Ankle Pitch	Module	Z	Coefficient de déport	Entraxe de fonctionnement	Rapport de réduction
pignon_03_20	0,3	20	0	15	4
mobile_inf_1 - roue		80	0		
mobile_inf_1- pignon	0,4	25	0,214	14,5	1,88
mobile_inf_2 - roue		47	0,042		
mobile_inf_2 - pignon	0,4	12	0,564	14,5	4,83
mobile_inf_4 - roue		58	0,836		
mobile_inf_4 - pignon	0,7	10	0,541	16,8	3,6
roue_sortie_inf		36	0,603		
Rapport					130,85

Ankle Roll	Module	Z	Coefficient de déport	Entraxe de fonctionnement	Rapport de réduction	
pignon_03_13	0,3	13	0	13,95	6,15	
mobile_inf_1 - roue		80	0			
mobile_inf_1- pignon	0,4	25	0,214	14,5	1,88	
mobile_inf_2 - roue		47	0,042			
mobile_inf_2 - pignon	0,4	12	0,564	14,5	4,83	
mobile_inf_3 - roue		58	0,836			
mobile_inf_3 - pignon	0,7	10	0,541	16,8	3,6	
support_denté		36	0,603			
conico-cylindrique						
Rapport					201,3	

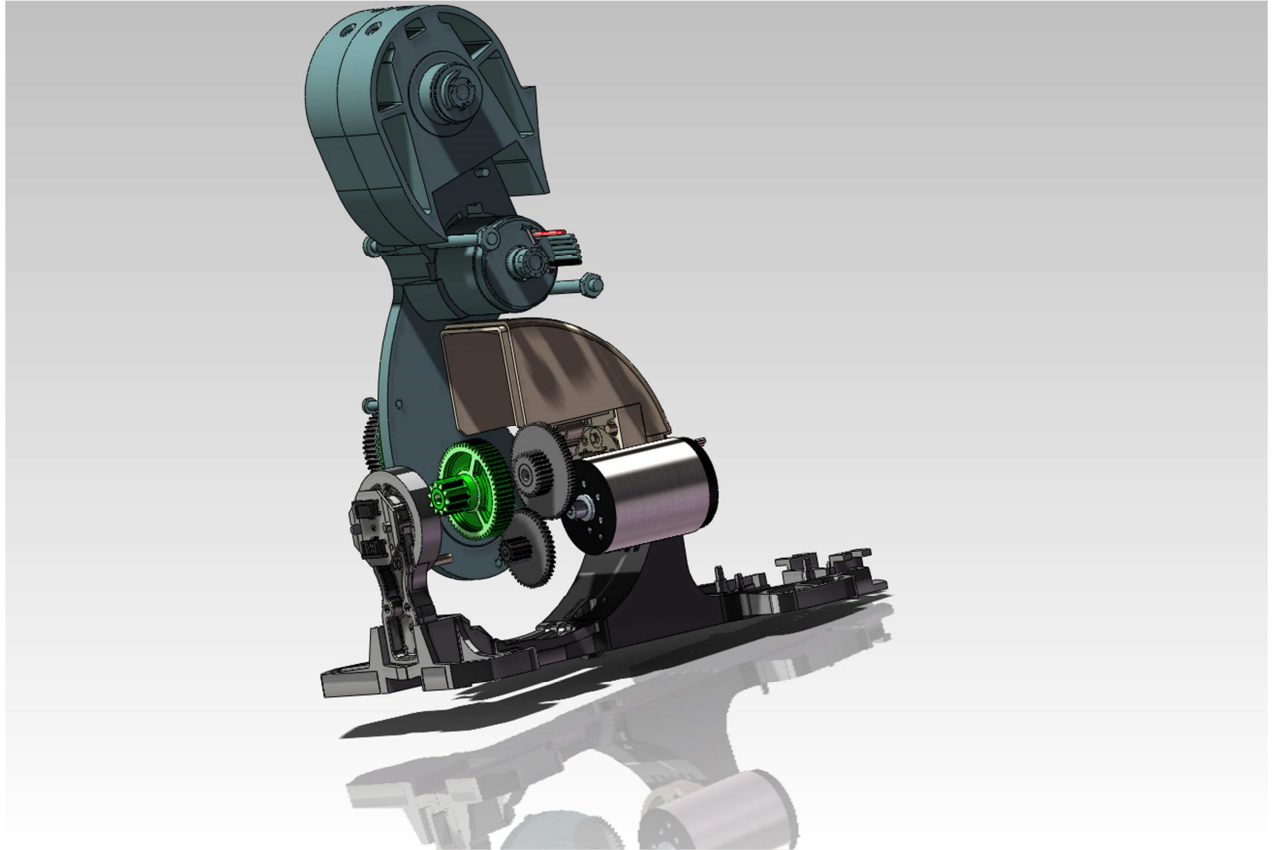
Voir la fiche technique des thermo plastiques utilisées dans le document : LUVOCOM_1XCF30.pdf



Chaine de transmission en tangage

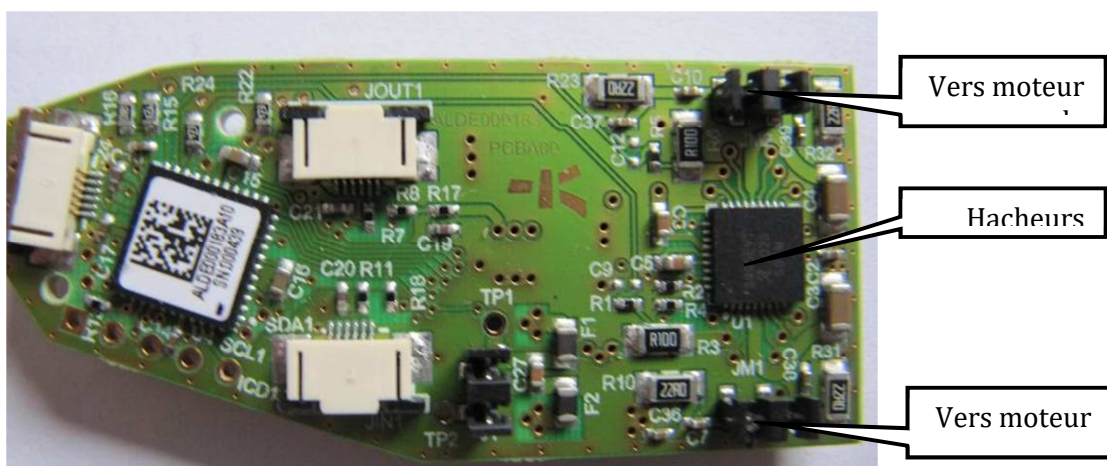


Chaîne de transmission en roulis



Fonction Distribuer (Hacheurs)

La photo ci-dessous montre la position du composant réalisant cette fonction.



Les 2 hacheurs nécessaires pour alimenter les 2 moteurs des 2 axes sont réalisés par un seul composant :

A3995 d'Allegro.



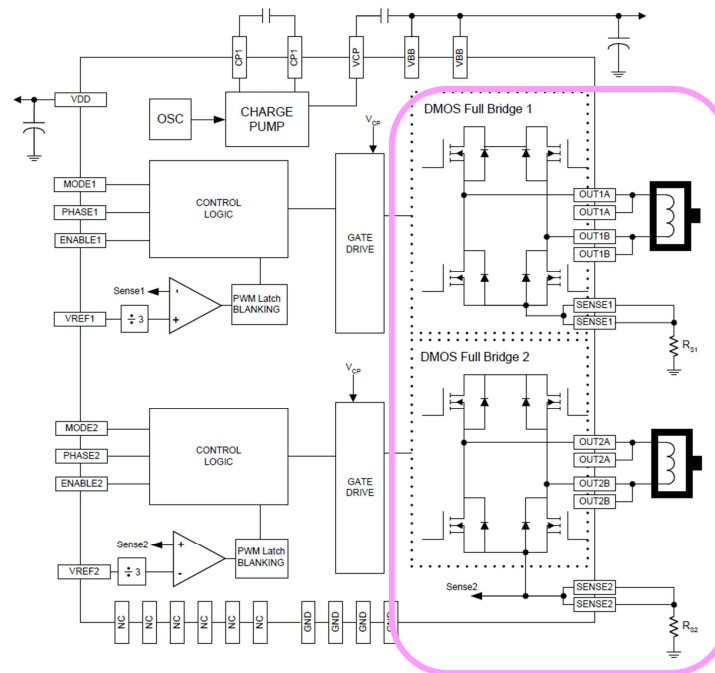
A3995

DMOS Dual Full Bridge PWM Motor Driver

Le A3995 est un double Hacheur 4 quadrants pouvant délivrer un courant maximal de 2,4A sous 36V.

Il se présente sous la forme d'un boîtier QFN 36 broches.

Le schéma fonctionnel de ce composant est donné ci-dessous :



Chaîne d'énergie

Voir la documentation dans le fichier : Hacheur A3995-Datasheet.pdf

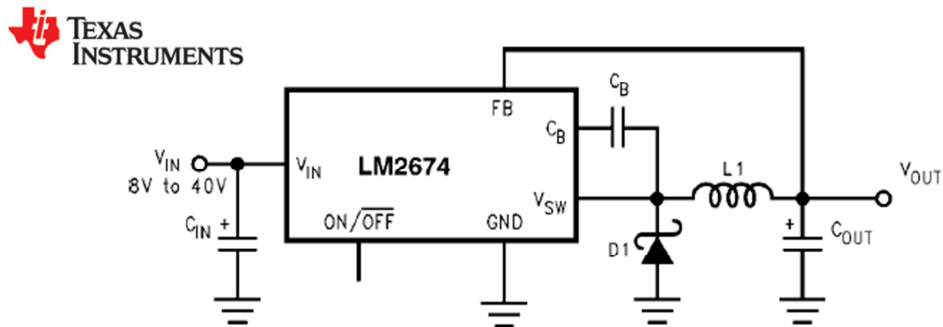
Fonction Distribuer (Régulateur)

Les composants utilisés dans la chaîne d'information sont alimentés en 3,3 V continu.

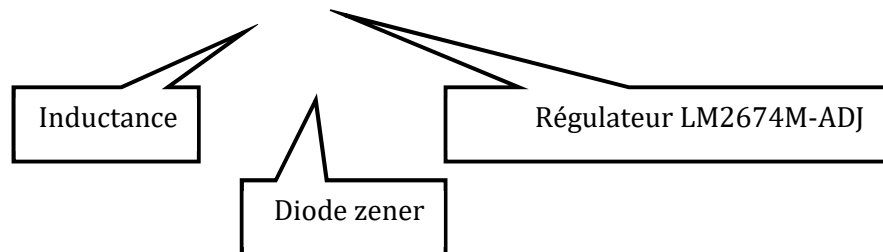
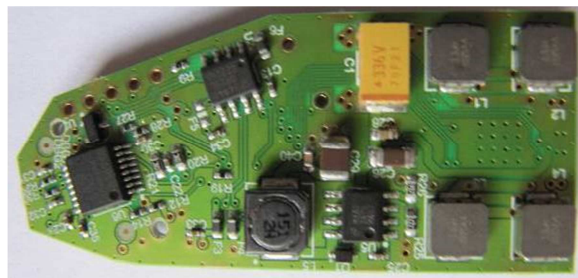
Le LM2674M permet d'obtenir une tension de sortie régulée à 3,3 V, 5 V ou 12 V et un courant maximal de 500 mA.

Il se présente sous la forme d'un boîtier SO 8 broches.

La régulation se fait de la façon suivante en y ajoutant 5 éléments :



La photo ci-dessous montre la position des composants réalisant cette fonction.



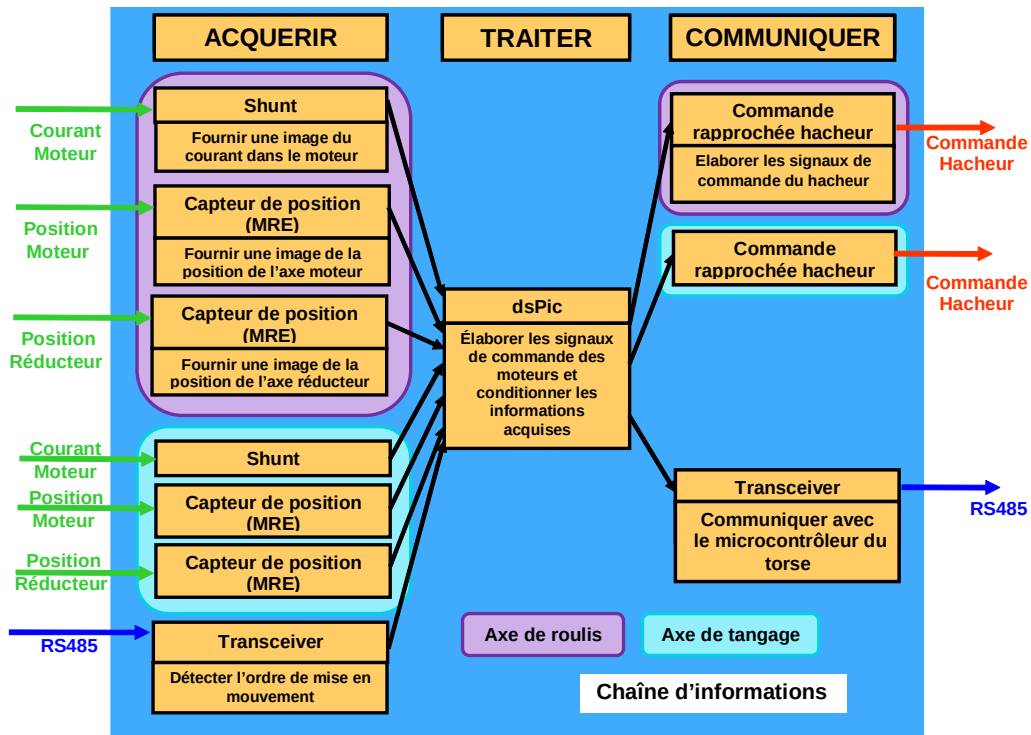
Fonction Alimenter (Alimentation)

Voir la documentation dans le fichier : Power supply PSD40-65 Series.pdf

Chaîne d'information

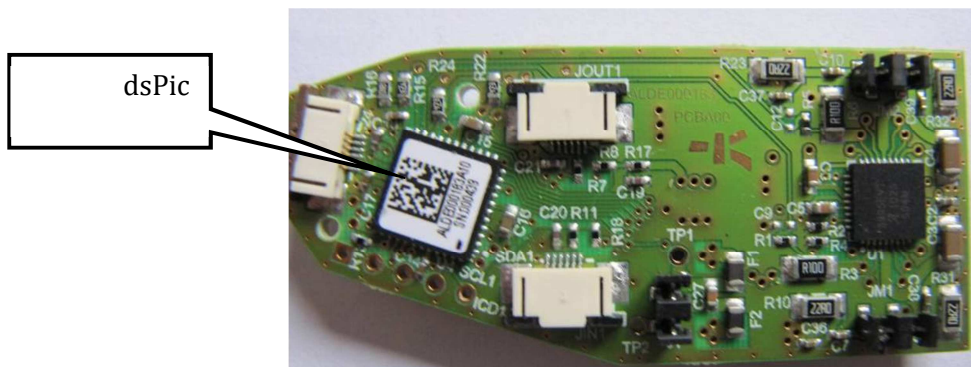
Organisation de la chaîne d'information

L'organisation de la chaîne d'information est donnée ci-dessous. La structure est identique pour les commandes des 2 axes roulis et tangage.



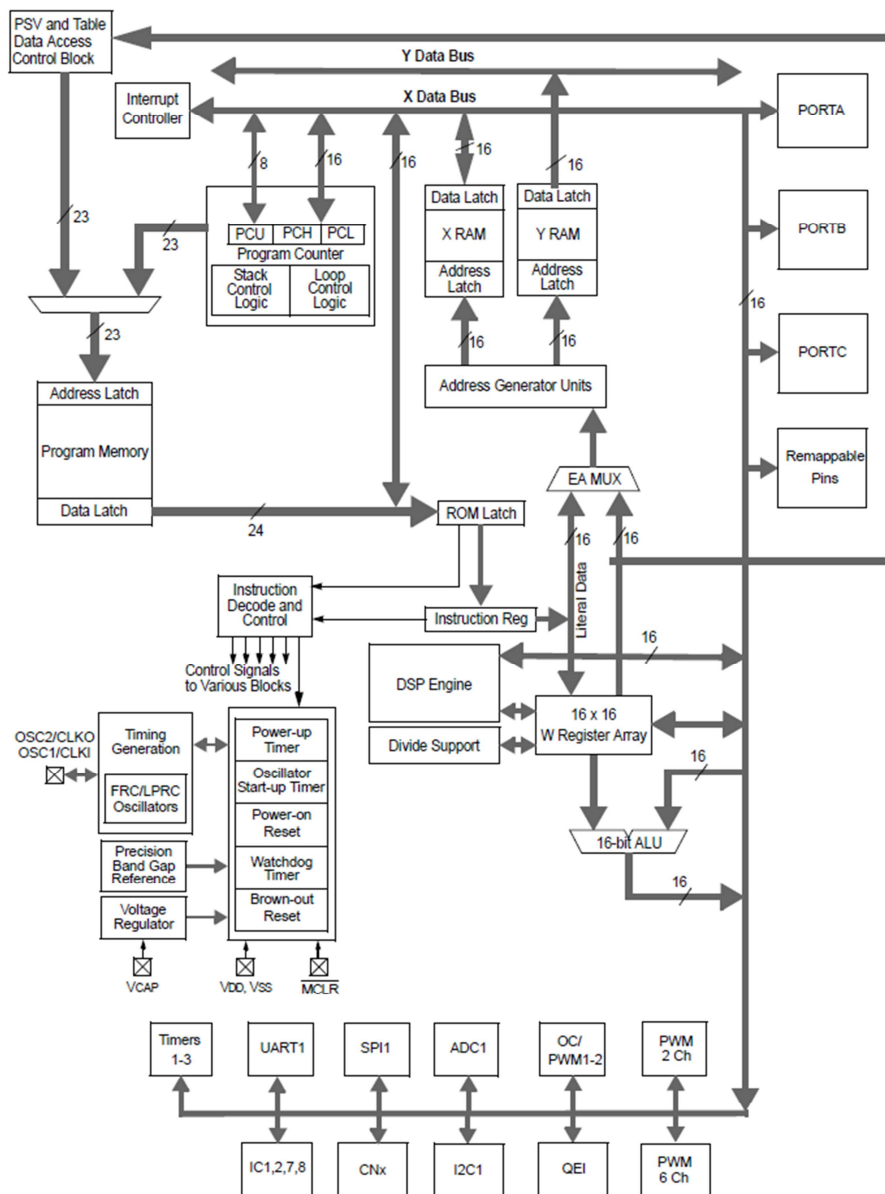
Fonction Traiter

Un dsPic (33FJ32MC204 de Microchip) permet le traitement des informations. C'est un boîtier QFN de 44 broches.



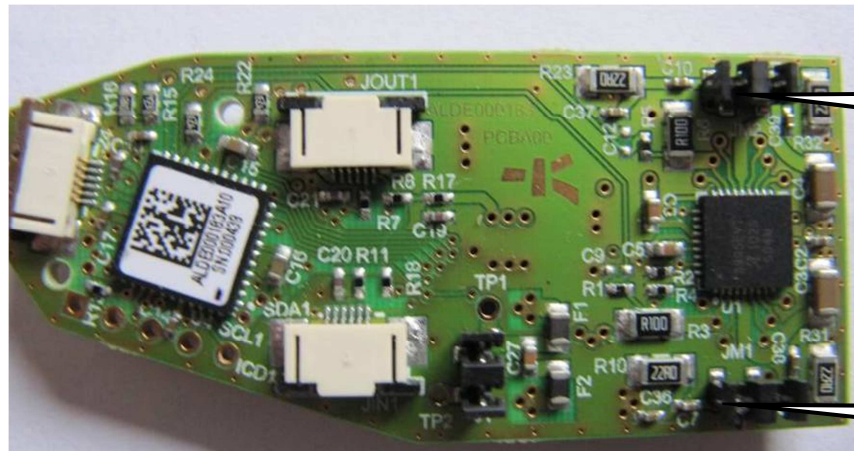
La structure interne est la suivante :

dsPIC33FJ32MC202/204



Fonction Acquérir (Courant)

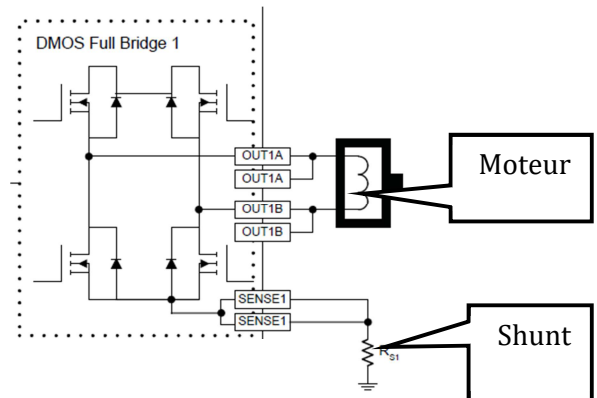
Deux résistances de $100\text{ m}\Omega$ permettent de mesurer le courant moteur.



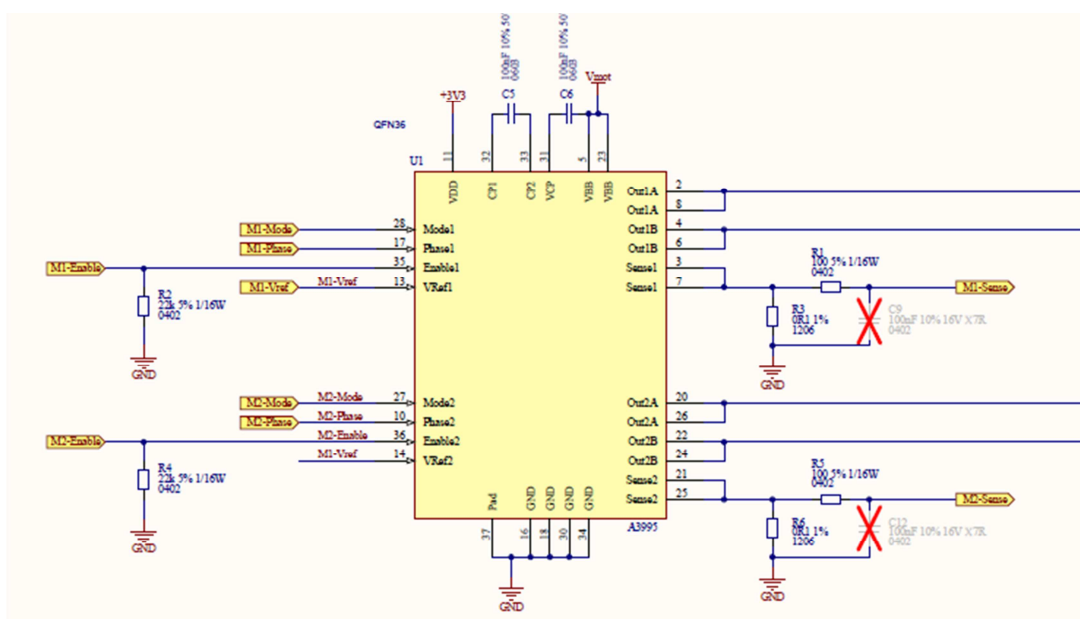
Le courant mesuré n'est pas le courant moteur, en effet le shunt n'est pas en série avec le moteur comme le montre le schéma ci-contre.

Voir le TP : Convertisseur pour plus de précisions.

Le courant mesuré ne l'est que dans les phases motrices du moteur, dans les autres phases il est affiché nul.



La précision est $\Delta i = 8\text{ mA/bit}$.



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

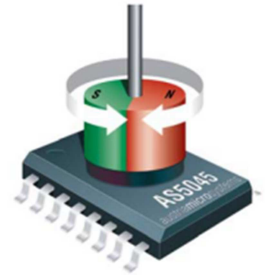
12 Bit Programmable Magnetic Rotary Encoder

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

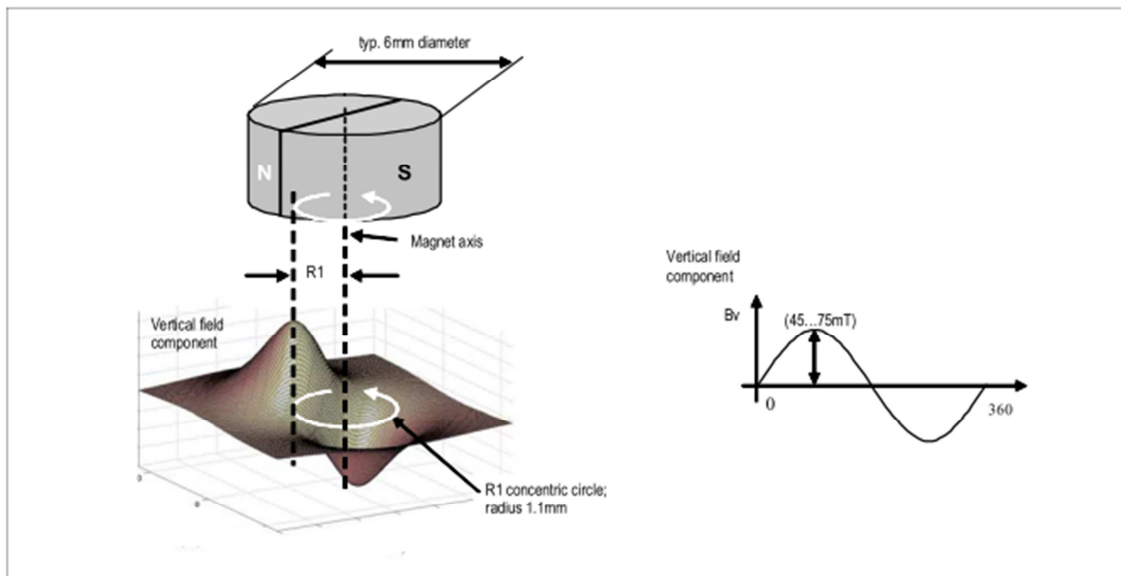
Pour mesurer un angle, un aimant circulaire centré au dessus du composant est nécessaire.

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

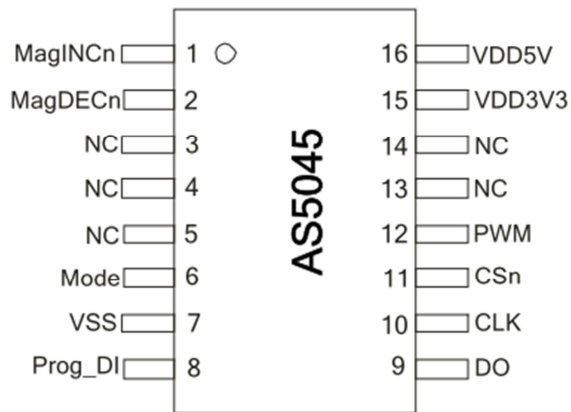
L'information peut être transmise sous forme analogique (signal PWM dont le rapport cyclique est proportionnel à l'angle) ou sous forme numérique (flot série de bits).



Répartition de l'induction magnétique



Le composant se présente sous la forme d'un boîtier SSOP 16 broches.



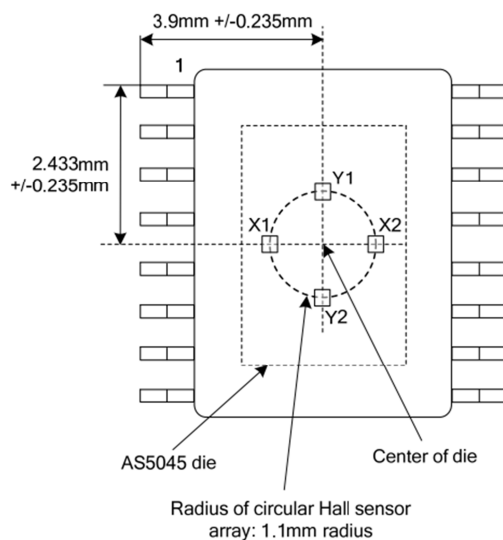
7 : alimentation 0V DC

15 : alimentation 3,3V DC

16 : alimentation 3,3V DC

Les broches 3, 4, 5, 6, 13 et 14 sont pour un usage interne et ne doivent pas être connectées.

8 : broche permettant de programmer la position 0°



Le composant possède quatre capteurs à effet Hall placés symétriquement sur un cercle dont le centre est le centre du composant.

La différence des signaux issus des capteurs Y1 et Y2 est proportionnelle au sinus de l'angle position.

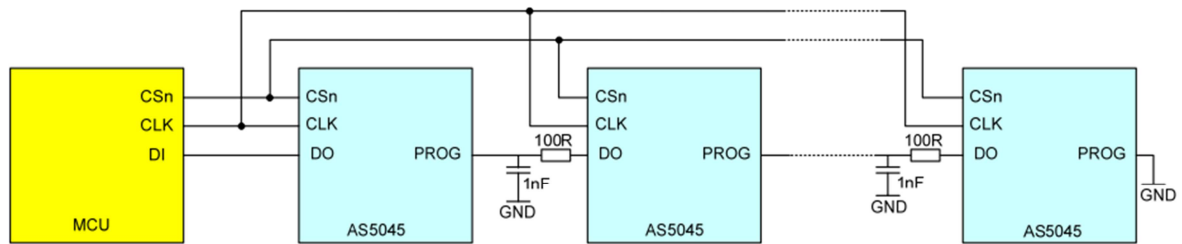
La différence des signaux issus des capteurs X1 et X2 est proportionnelle au cosinus de l'angle position.

Le déplacement angulaire est donnée par la relation :

$$\theta = \text{Arc tan} \left(\frac{Y1 - Y2}{X1 - X2} \right) \pm 0.5^\circ$$

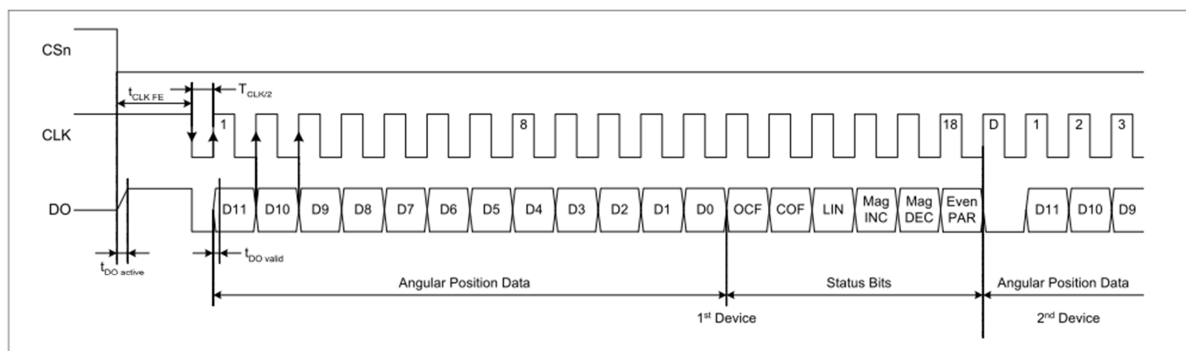
Mode Daisy Chain

Ce mode permet de connecter en cascade plusieurs MRE. Il permet de limiter le nombre de connecteurs utilisés.



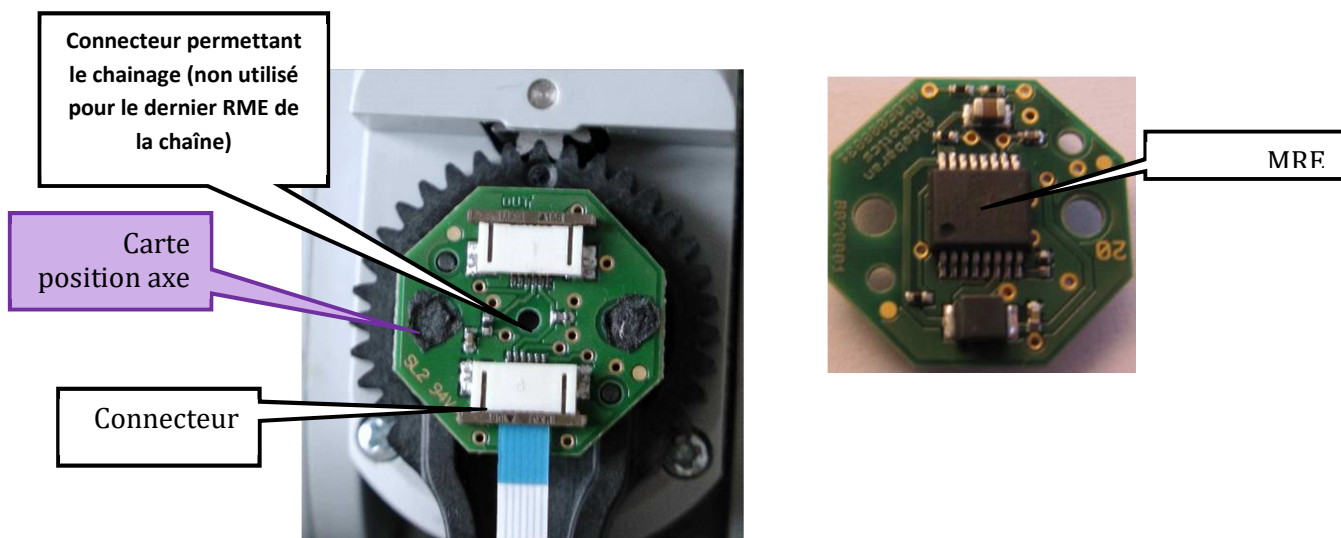
Dans ce cas les données sont lues sur la broche DO du premier MRE de la chaîne. Si nous avons n MRE connectés, la longueur de la trame est donnée par $n \cdot (18+1)$ bits.

Codage de la trame

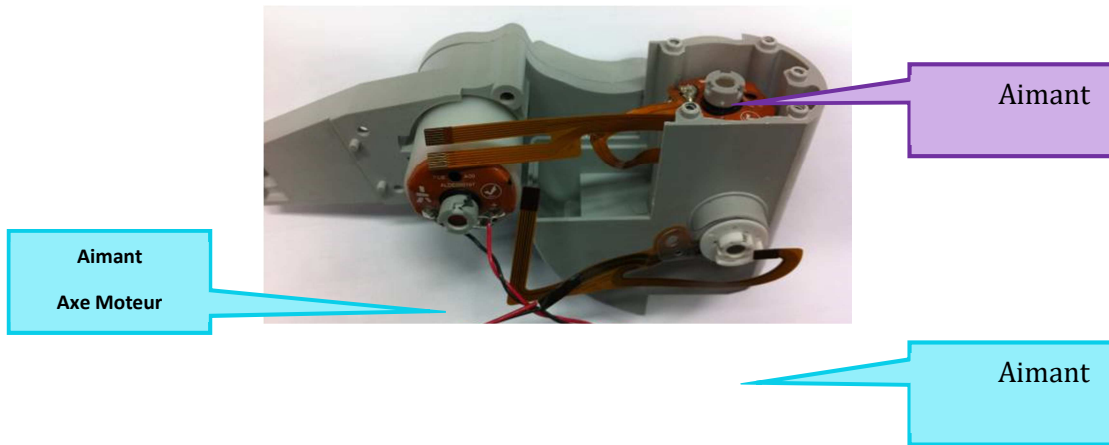


On retrouve le principe d'une transmission série synchrone classique.

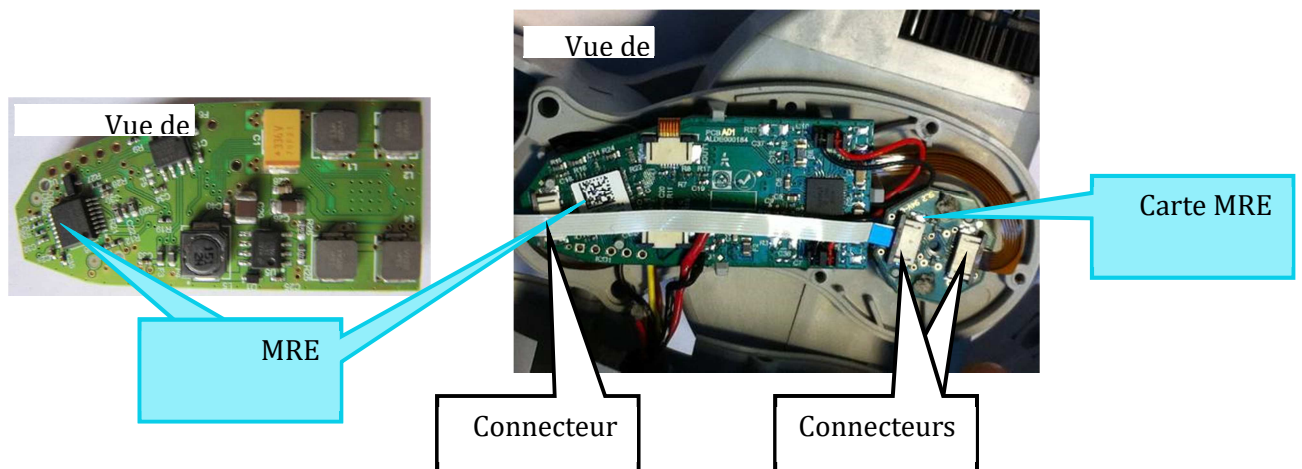
Pour 3 mesures de position, des circuits imprimés hexagonaux sont positionnés en face des axes.



Les aimants sont positionnés « en force » en extrémité des axes comme le montre la photo ci-dessous. Le composant MRE sera en vis-à-vis.



La quatrième mesure est quant à elle effectuée sur la carte principale. Ci-dessous, on retrouve les positions des 2 capteurs MRE de l'axe AnklePitch.

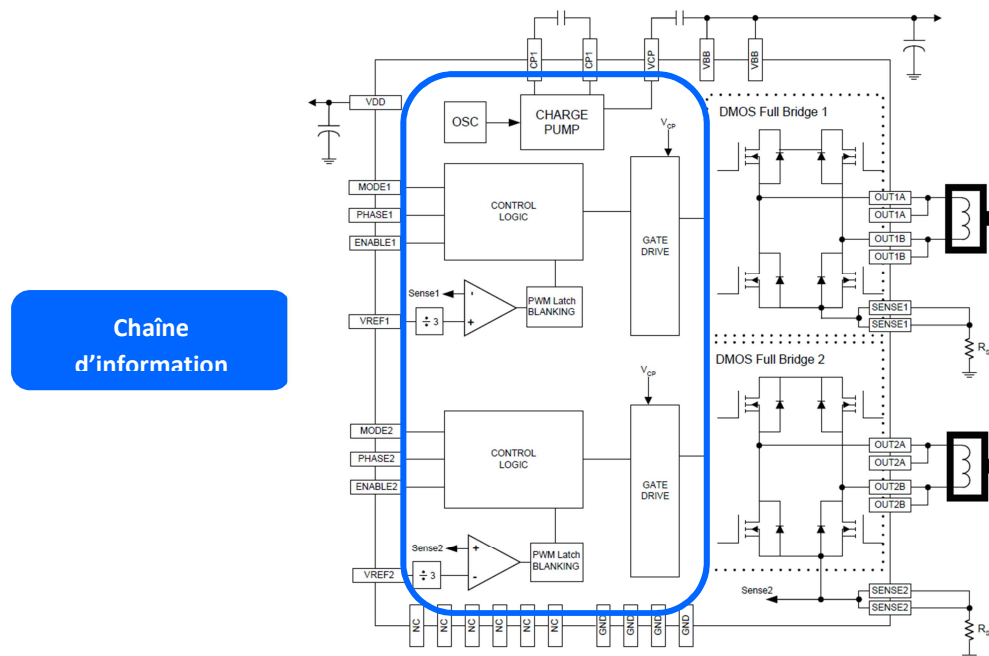


Voir des compléments sur les capteurs dans le document : [Additional_information.pdf](#)

Fonction Communiquer (hacheurs)

Le traitement de l'information est réalisé par le dsPIC. Les commandes sont ensuite envoyées au composant A3995 via les entrées Mode, Phase et Enable.

Le schéma fonctionnel de ce composant est rappelé ci-dessous :



La table de vérité est donnée ci-dessous :

DC Control Logic

PHASE	ENABLE	MODE	OUTA	OUTB	Function
1	1	1	H	L	Forward (slow decay SR)
1	1	0	H	L	Forward (fast decay SR)
0	1	1	L	H	Reverse (slow decay SR)
0	1	0	L	H	Reverse (fast decay SR)
X	0	1	L	L	Brake (slow decay SR)
1	0	0	L	H	Fast decay SR*
0	0	0	H	L	Fast decay SR*

* To prevent reversal of current during fast decay SR – the outputs will go to the high impedance state as the current gets near zero.

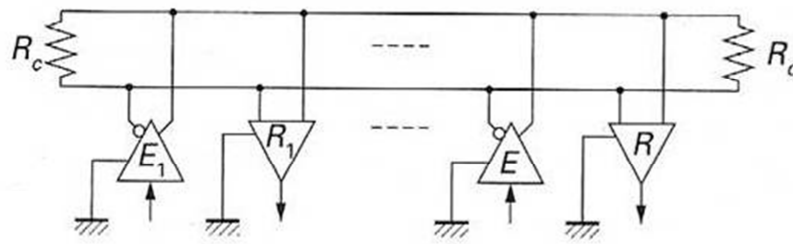
L'entrée mode est toujours fixée à 1.

Fonction Communiquer (RS485)

La liaison utilisée pour communiquer avec le reste du Robot est une liaison série RS485.

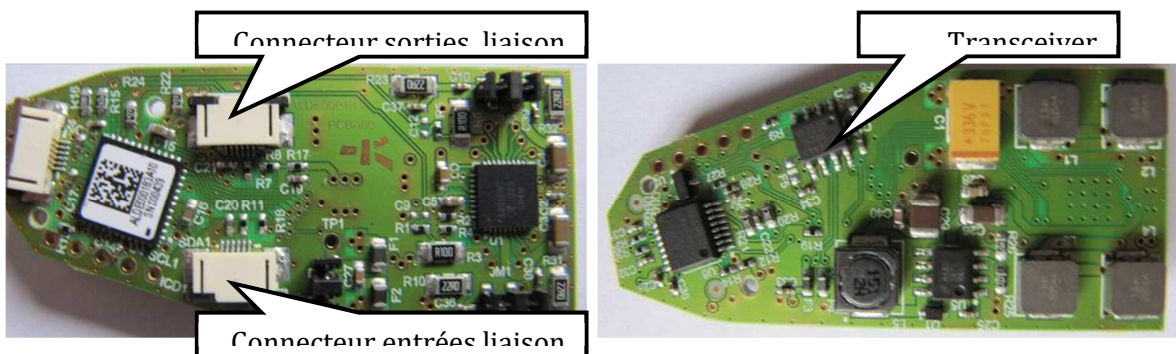
La liaison RS485 est réalisée par 2 fils en mode différentiel comme le montre la figure ci-dessous. Il s'agit d'une transmission synchrone bidirectionnelle (semi-duplex).

La norme permet des transmissions multipoints (32 émetteurs/32 récepteurs).

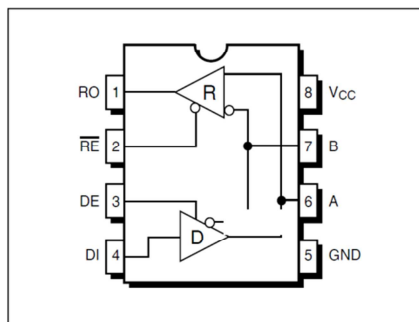


Il est nécessaire de placer des composants appelés transceiver qui définissent le mode émetteur ou récepteur.

Le composant utilisé pour la cheville est le transceiver SP3494.



Ce composant est un boîtier SOIC de 8 broches.



PIN FUNCTION - SP3494

- Pin 1 – RO – Receiver Output.
- Pin 2 – $\overline{RE}$ – Receiver Output Enable Active LOW.
- Pin 3 – DE – Driver Output Enable Active HIGH.
- Pin 4 – DI – Driver Input.
- Pin 5 – GND – Ground Connection.
- Pin 6 – A – Driver Output/Receiver Input Non-inverting.
- Pin 7 – B – Driver Output/Receiver Input Inverting.
- Pin 8 – Vcc – Positive Supply $+3.00V < V_{CC} < +3.60V$



Les tables de vérités sont les suivantes :

INPUTS			LINE CONDITION	OUTPUTS	
$\overline{RE}$	DE	DI		B	A
X	1	1	No Fault	0	1
X	1	0	No Fault	1	0
X	0	X	X	Z	Z

Table 1. Transmit Function Truth Table

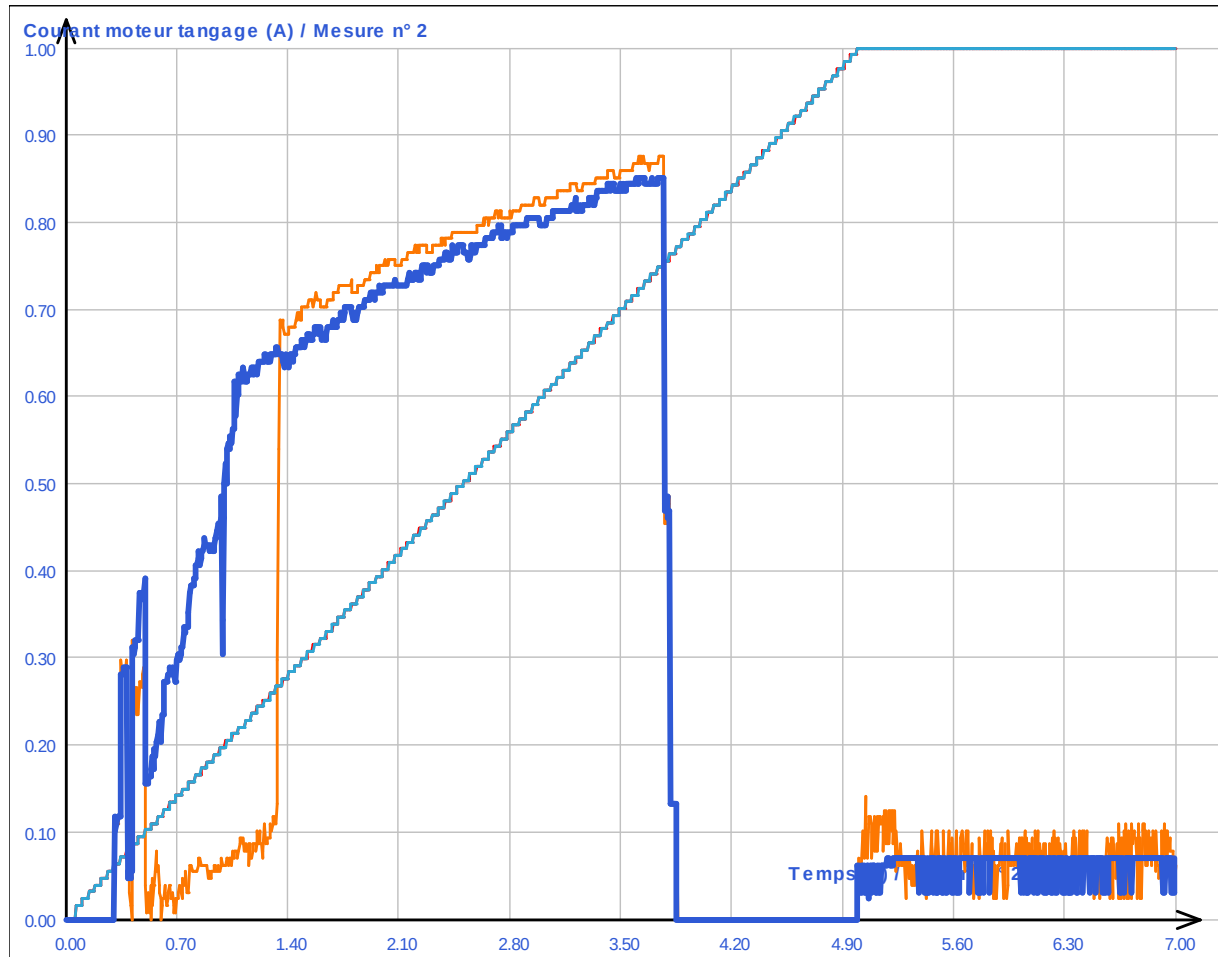
INPUTS		A - B	OUTPUTS R
$\overline{RE}$	DE		
0	0	+0.2V	1
0	0	-0.2V	0
0	0	Inputs Open	1
1	0	X	Z

Table 2. Receive Function Truth Table

Saturations

Des saturations ou limitations sont mises en place dans la commande de la cheville pour principalement protéger les composants.

Les relevés de mesure ci-dessous permettent de les mettre en évidence.



- En turquoise la consigne : PWM croissant au taux de 0,2 (20%) par seconde
- En orange : évolution du courant lorsque la cheville démarre en position de référence. Elle atteint la butée au bout de 1,4 s environ ;
- En bleu : toujours le courant, mais cette fois la cheville est en butée dès le départ.

L'analyse est la suivante.

- En orange : jusqu'à 0,4 s environ, la cheville ne bouge pas. Lorsqu'elle démarre, "secousse" dans le courant, puis accroissement proportionnel à l'évolution de la tension jusqu'à 1,35 s. On atteint la butée, accroissement instantané du courant, qui progresse ensuite presque proportionnellement au PWM, avec une pente comparable à celle de la phase de mouvement. Arrivé à 0,85 ampère, on constate une chute du courant à 0. **Il y a clairement ici une limitation du courant de type tout ou rien.** Le PWM continue à augmenter, le courant reste à 0. Quand il atteint 1 (100%), il y a clairement un autre mode de protection, qui limite le courant à 0,1 A.
- En bleu : l'analyse est la même, sauf la phase de déplacement qui est remplacée par une phase de déformation de pente beaucoup plus forte, mais qui aboutit à peu près au même endroit à $t = 1$ s.

En conclusion, il y a trois modes de protection du moteur :

- Une limitation en courant lorsqu'il dépasse 0,8 A ; Il est alors forcé à 0 (tension nulle) ;
- Une autre limitation lorsque le PWM atteint 100%. Il doit être forcé à 10%, ce qui correspond à un courant de 0,1 A environ ;
- L'anti shaking qui évite les sollicitations alternées à chaque pas de commande. Elle n'intervient pas ici. (Voir la caractérisation de l'anti shaking dans les documents : Additional_information.pdf et Kit_pedago.pdf)

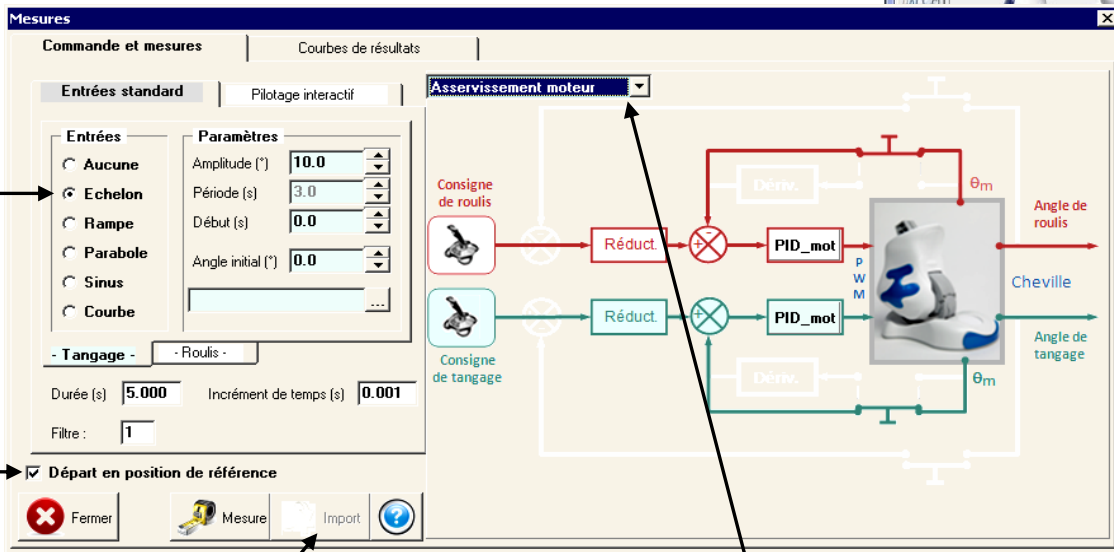
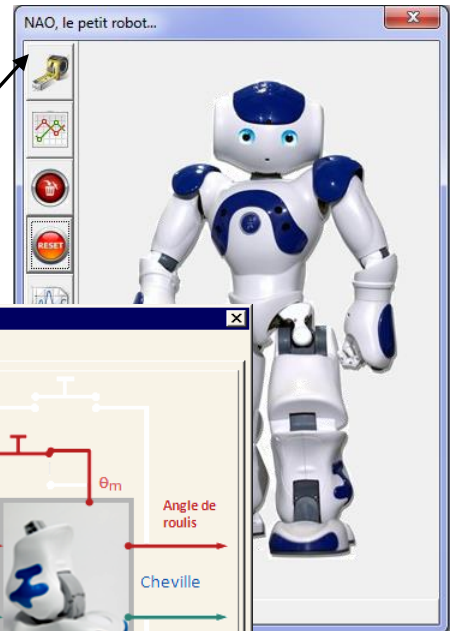
Mise en Œuvre de la Cheville NAO

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.

L'écran ci-dessous s'affiche.



import de la mesure

Choix du type d'asservissement :

Cette fenêtre permet de choisir les types d'asservissements suivants :
Asservissement réducteur ; Asservissement moteur ; Commande PWM ; Boucle ouverte

Départ en position initiale :

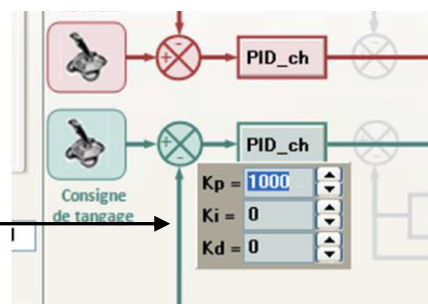
Cocher cette case permet à la cheville de revenir en position initiale avant chaque sollicitation.

Commande par échelon : (exemple 10°)

Ne pas oublier de renseigner :

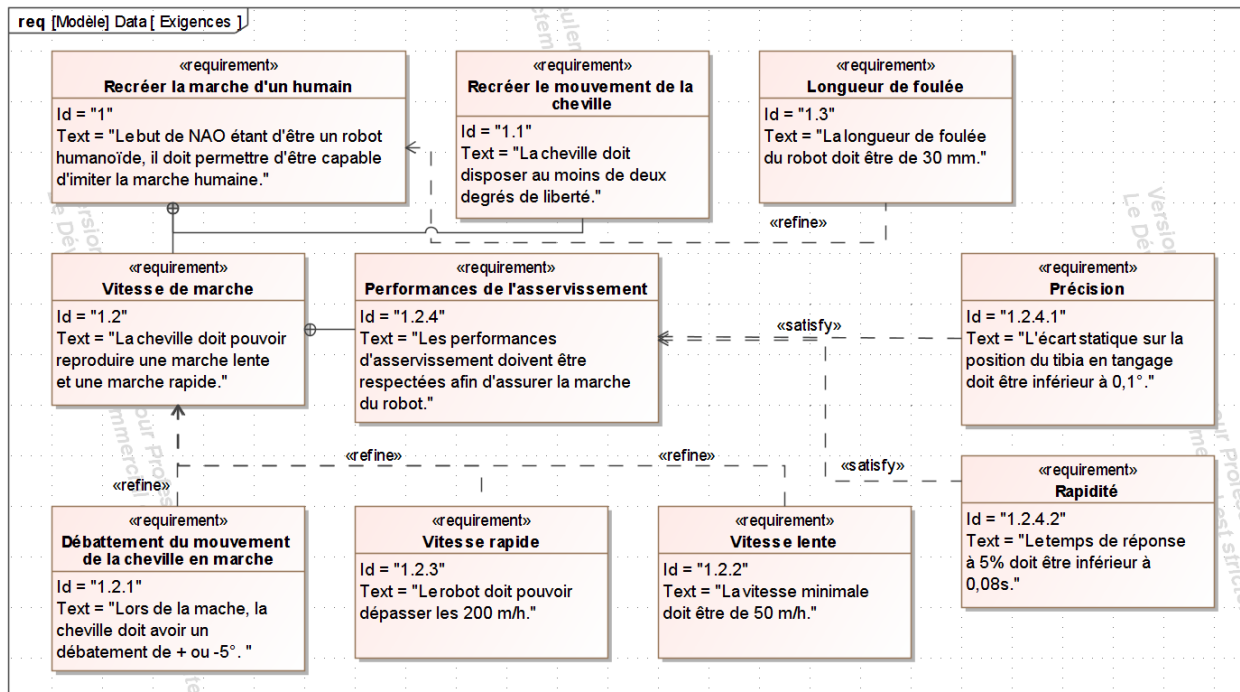
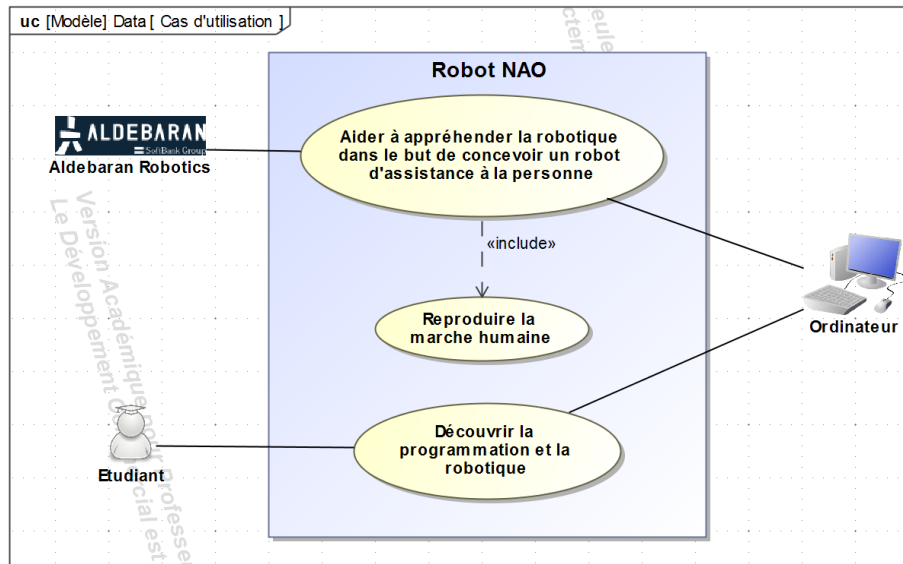
- La durée du mouvement (qui représente la durée de l'acquisition),
- La fréquence de commande et d'acquisition (nombre de points par seconde).

Chaque correcteur PID peut être réglé en cliquant sur l'icône correspondant :

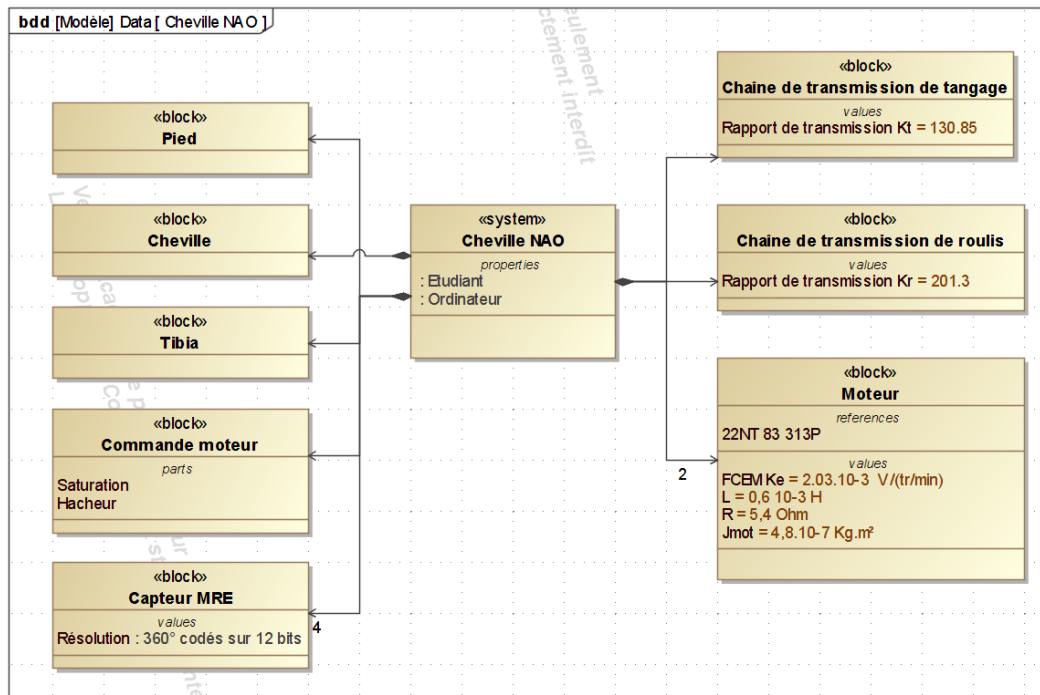


Analyse Externe et Interne de la cheville NAO

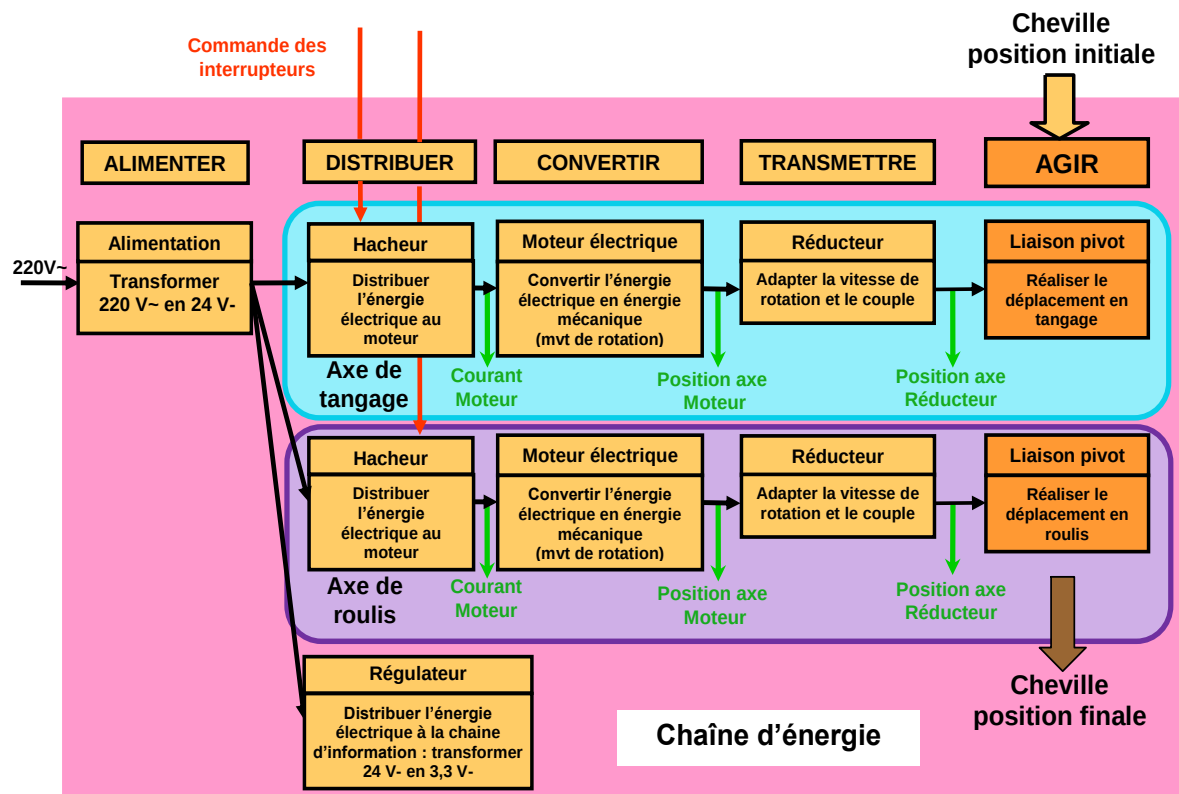
A - ANALYSE EXTERNE



B - ANALYSE INTERNE



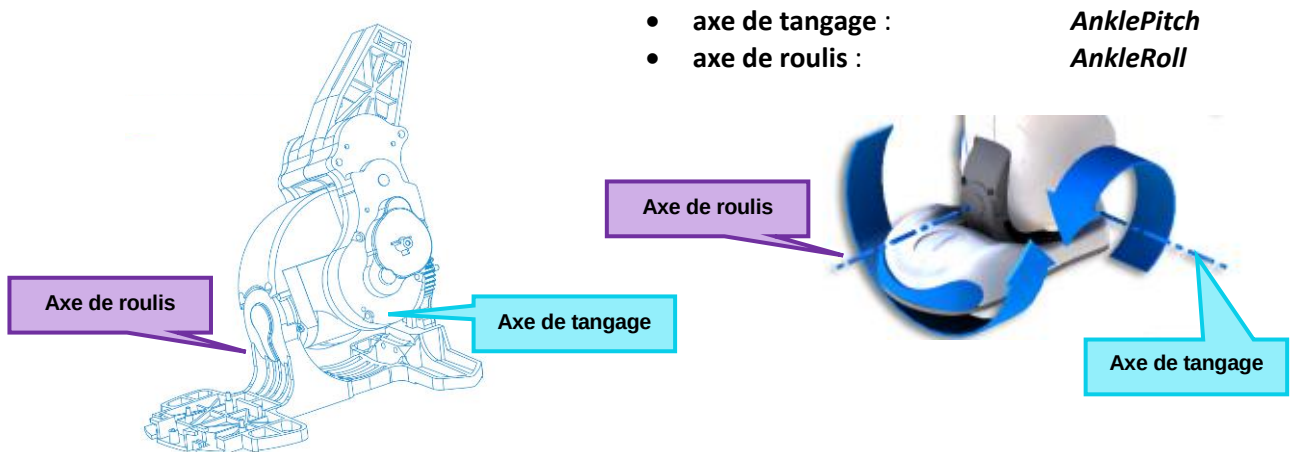
CHAÎNE D'ÉNERGIE DE L'AXE DE TANGAGE ET DE ROULIS



Présentation des Composants des Chaînes d'Energie du Système

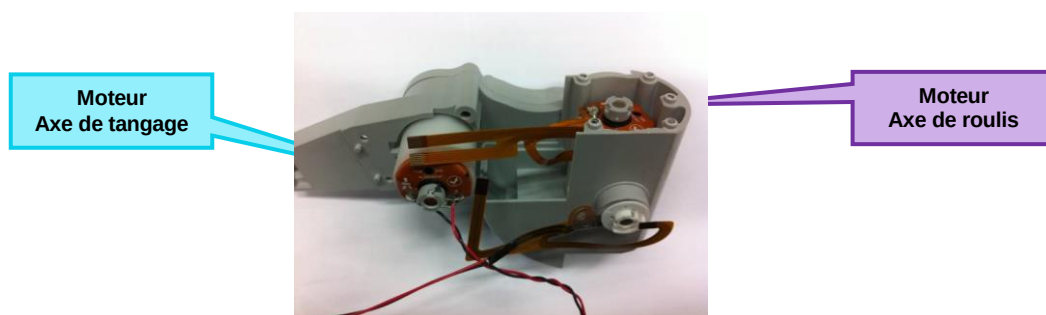
CHEVILLE NAO

Ce sous-ensemble comporte 2 axes de liberté nommés :



A-FONCTION CONVERTIR

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



MODELE DE CONNAISSANCE DU MOTEUR COURANT CONTINU :

Les équations du modèle de connaissance du moteur courant à continu sont les suivantes :

- $u_m(t) = e(t) + R_m \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$
- $C_m(t) = K \cdot i(t)$
- $e(t) = K \cdot \omega_m(t)$
- $J \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \omega_m(t)$

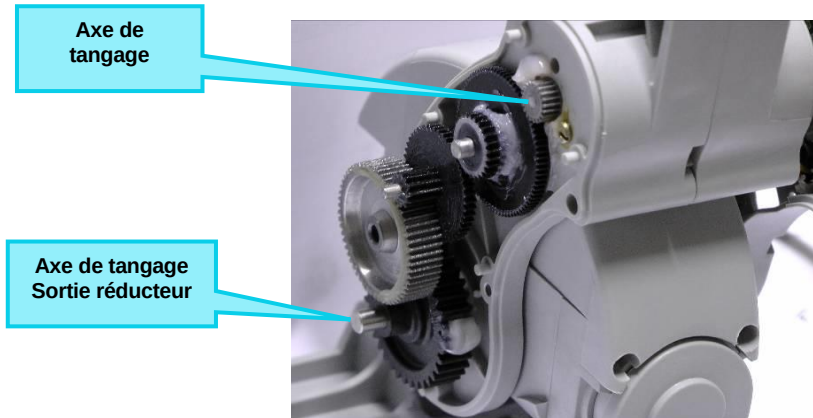
Avec :

$u_m(t)$: Tension aux bornes du moteur	[V]
$e(t)$: Force contre électromotrice du moteur	[V]
$i(t)$: Intensité dans le moteur	[A]
$C_m(t)$: Couple exercé par le moteur	[N.m]
$\omega_m(t)$: Vitesse angulaire du moteur	[rad/s]
R_m : Résistance d'induit	[Ω]
L : inductance de l'induit	[H]
K : Constante de force contre électromotrice	[V/(rad/s)]
J : Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur	[kg.m ²]
$K_m = 0,0194$ N.m/A : Const de couple	[N.m/A]
$C_r(t)$: couple résistant et de frottement	[N.m]
f : coefficient de frottement visqueux	[Nm/rad.s ⁻¹]

Specification		unit	value	tolerance
Measured values				
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%
Recommended values				
10	Continuous current (at 22°C)	A	0.92	max
11	Continuous torque	mNm	16.1	max
12	Angular acceleration	10 ³ rad/s ²	181	max
13	Ambient working temperature range	°C	-30°C to 65°C	typical
14	Rated coil temperature	°C	155	max
Intrinsic parameters				
20	Back-EMF constant	V/1000 rpm	2.03	±8%
21	Torque constant	mNm/A	19.4	±8%
22	Motor regulation R/k2	10 ³ /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 ² 10 ⁻⁷	4.8	typical
30	Stall torque	mNm	68	±8%

B-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
-----------------	-------

D-FONCTION ACQUERIR

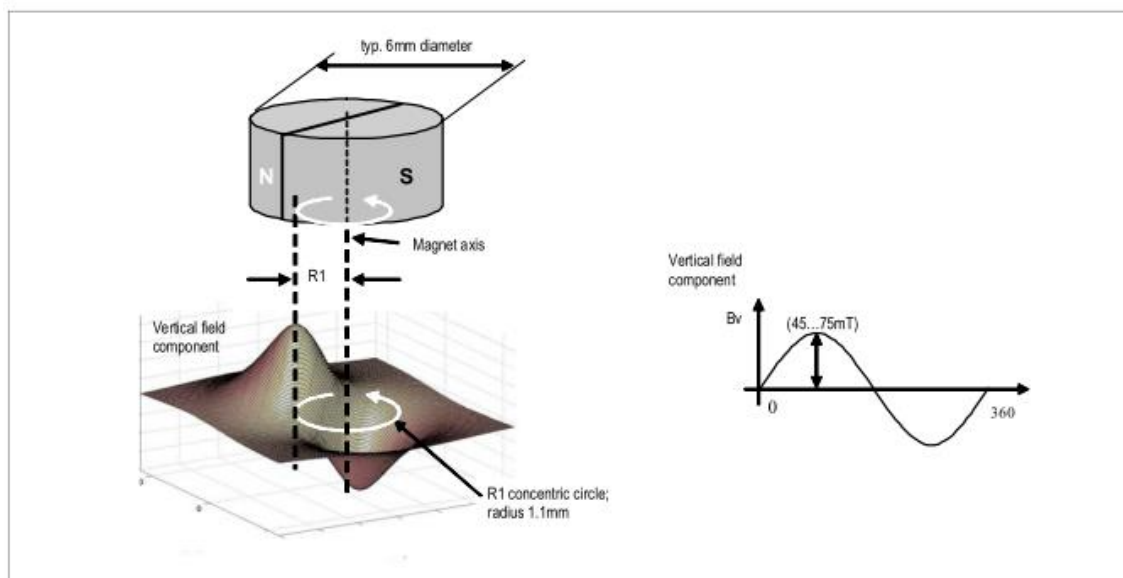
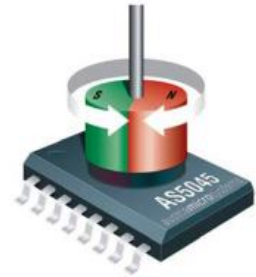
Les mesures de positions sont effectuées par 4 capteurs magnétiques MRE AS5045. Pour chaque axe (Pitch et Roll), il y a un capteur sur l'axe du moteur et un capteur sur l'axe en sortie du réducteur. Ce circuit est un codeur rotatif magnétique sans contact. Il combine un DSP et des capteurs à effet Hall 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 $0,0879^\circ$ (12 bits, $360^\circ/2^{12}$).

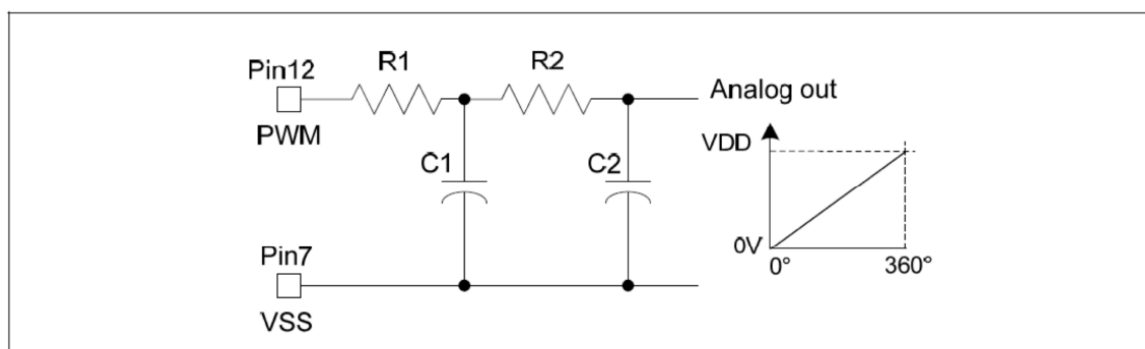
L'information peut être transmise sous forme analogique (signal PWM dont le rapport cyclique est proportionnel à l'angle) ou sous forme numérique (flot série de bits).

Répartition de l'induction magnétique



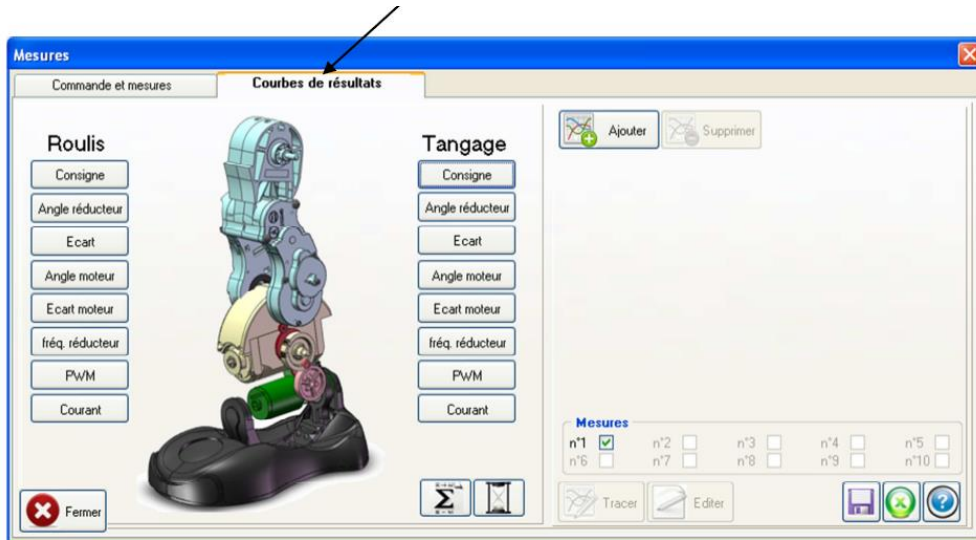
An analog output can be generated by averaging the PWM signal, using an external active or passive low pass filter. The analog output voltage is proportional to the angle: $0^\circ = 0V$; $360^\circ = VDD5V$.

Using this method, the AS5045 can be used as direct replacement of potentiometers.



Prise en main de l'ensemble Cheville

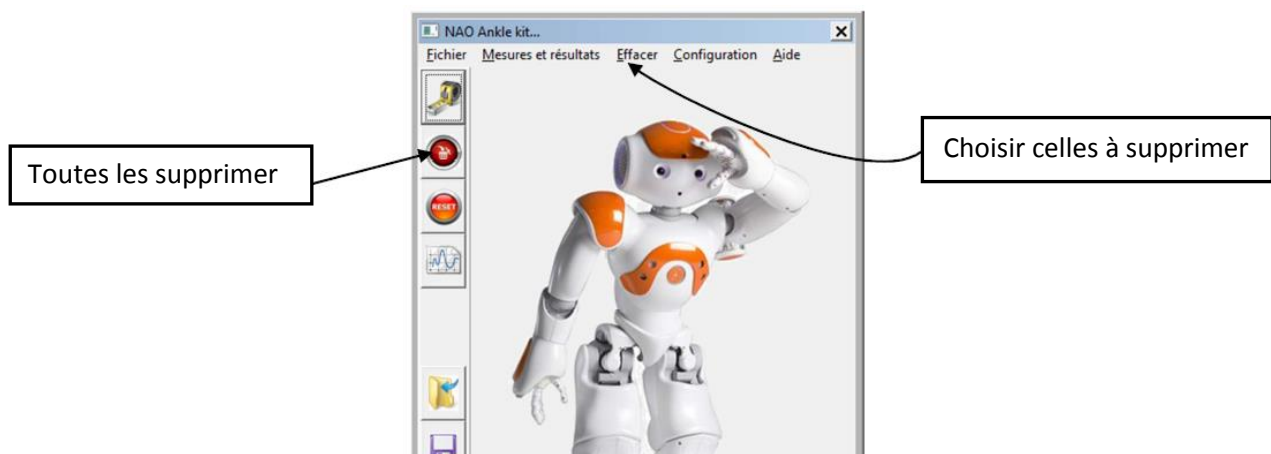
En cliquant sur l'onglet « Courbes de résultats », la fenêtre ci-dessous s'affiche :



Pour chaque axe, il est possible d'afficher plusieurs grandeurs en cliquant sur le bouton « Ajouter ».

Chaque import effectué incrémente le numéro de la « mesure ».

Le nombre de mesures importées est limité à 10, pour supprimer des mesures il faut :



Exemple :

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 K_p (coefficient du correcteur proportionnel) = 500
Lancer la MESURE ; l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute.

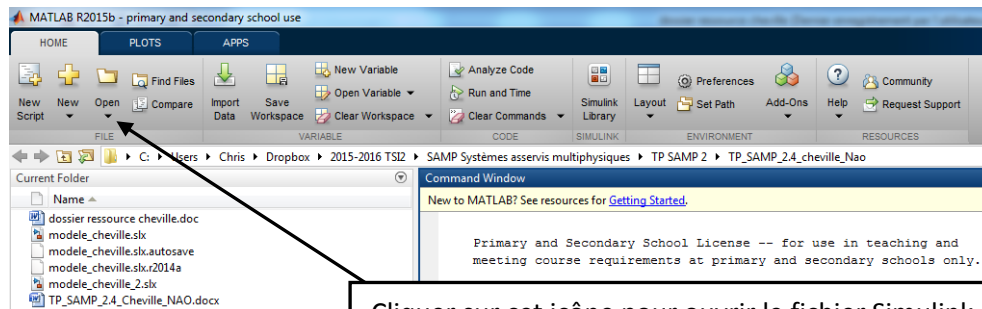
Commande sinusoïdale : (exemple 10° de fréquence 10Hz)

Envoyer une entrée sinusoïdale d'amplitude 10° , de période 0.1 s, de début nul et de durée 2s sur l'axe de tangage, commandé en Boucle Fermée.

Cliquer sur l'icône Matlab

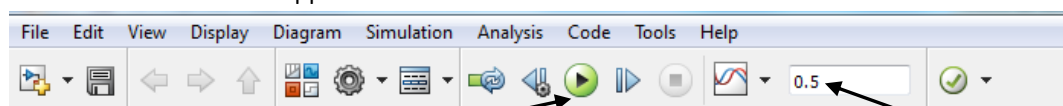


La fenêtre suivante s'ouvre



Cliquer sur cet icône pour ouvrir le fichier Simulink désiré

Le modèle s'ouvre sous l'apparence suivante :



Lancement de simulation

Durée de simulation

