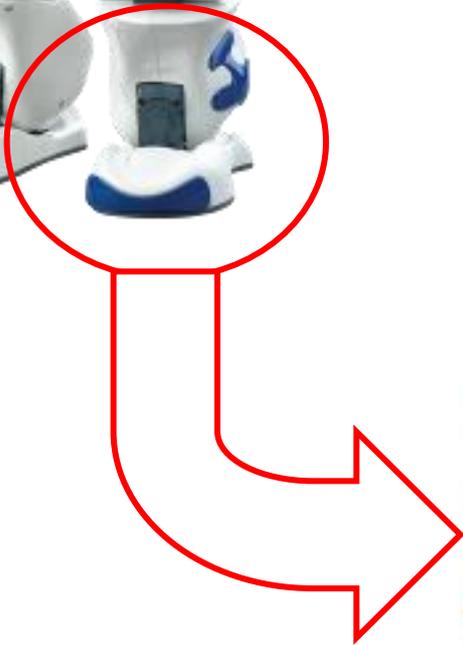


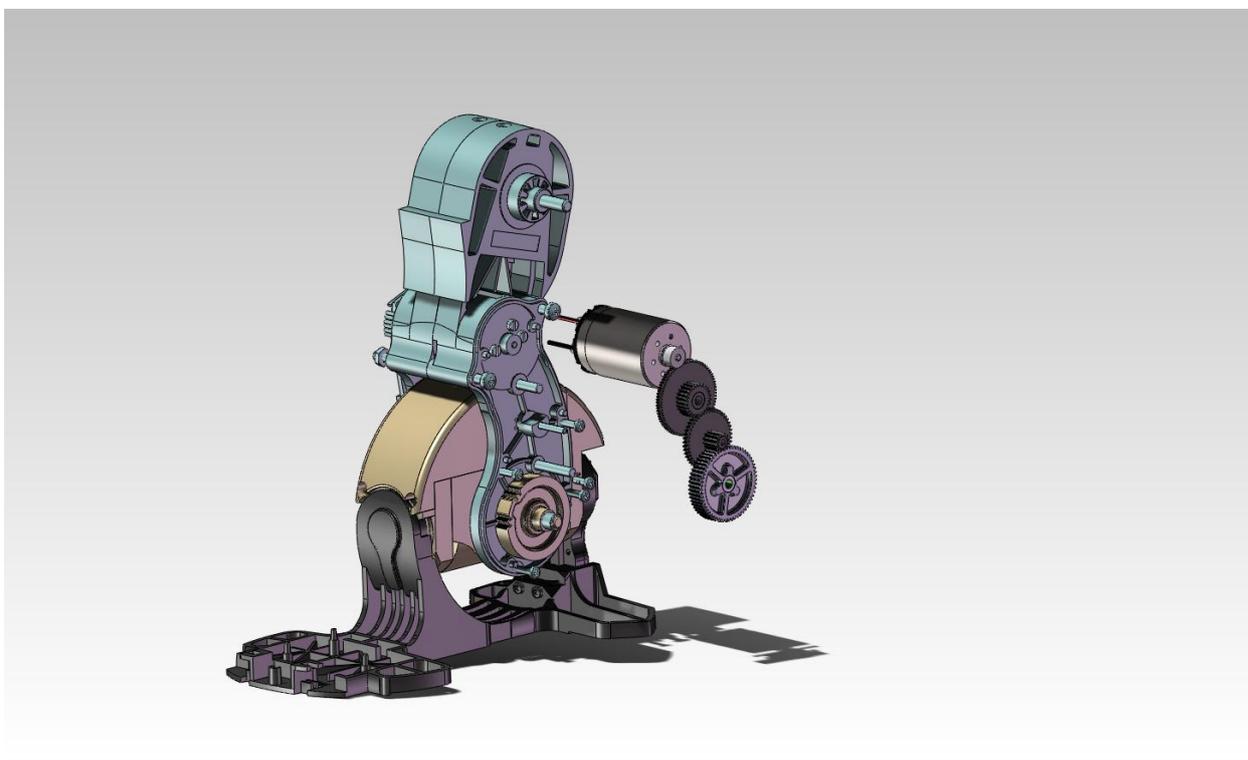


automatismes industriels



SOMMAIRE

Présentation	3
Architecture du robot Nao	3
Sous-Ensemble Cheville	3
Chaîne d'énergie	4
Organisation de la chaîne d'énergie	4
Fonction Convertir	5
Fonction Transmettre	6
Fonction Distribuer (Hacheurs)	10
Fonction Distribuer (Régulateur)	11
Fonction Alimenter (Alimentation)	11
Chaîne d'information	12
Organisation de la chaîne d'information	12
Fonction Traiter	12
Fonction Acquérir (Courant)	14
Fonction Acquérir (Position)	15
Voir des compléments sur les capteurs	18
Fonction Communiquer (hacheurs)	19
Fonction Communiquer (RS485)	19
Saturations	21
De Nao vers Roméo	24



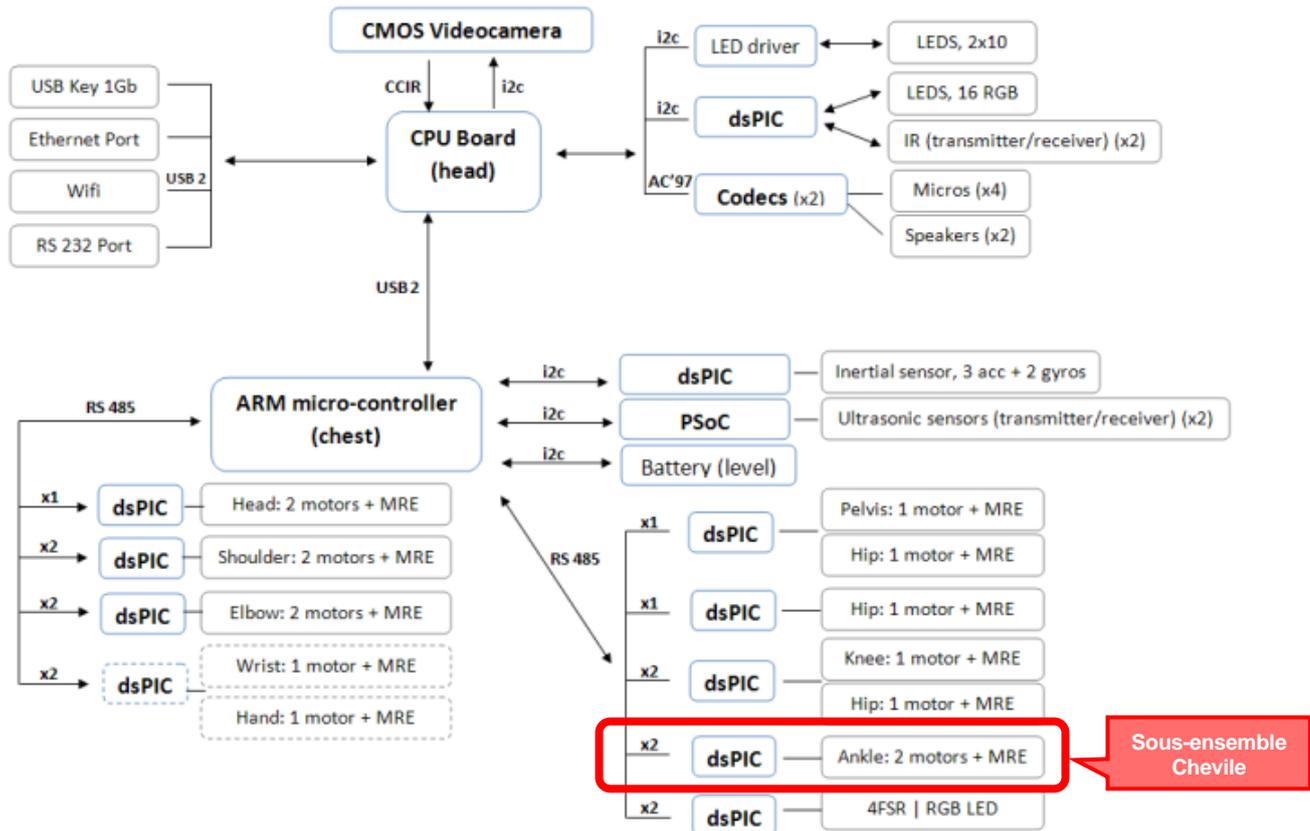
PRESENTATION

Architecture du robot Nao

L'architecture du robot Nao est donnée ci-dessous. On y retrouve l'ensemble des capteurs et actionneurs ainsi que les bus de communication permettant de l'interconnexion avec l'unité centrale (CPU : Central Processing Unit).

L'ARM permet de contrôler les 25 moteurs des 25 axes de liberté via des liaisons RS485.

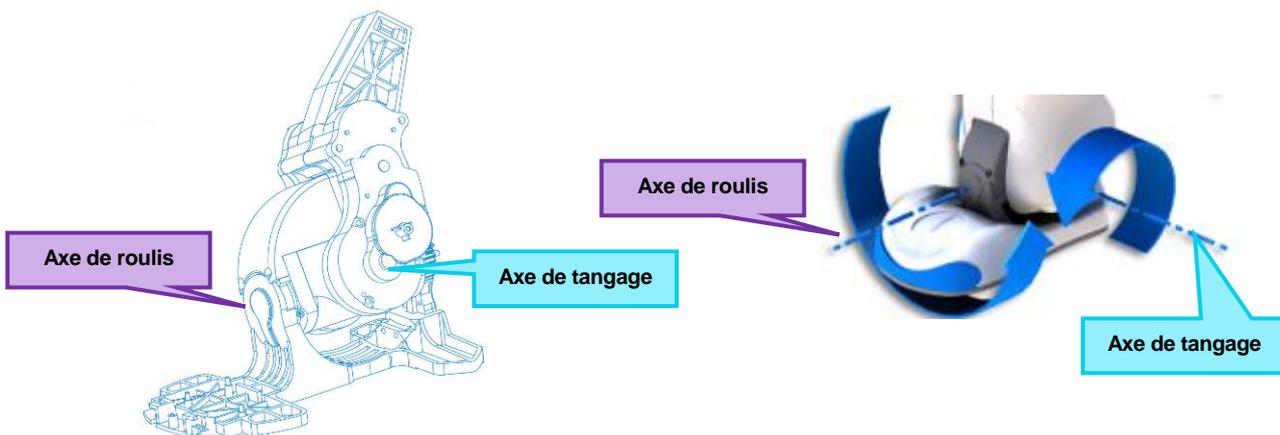
Le sous-ensemble étudié cheville est représenté dans le cadre rouge :



Sous-Ensemble Cheville

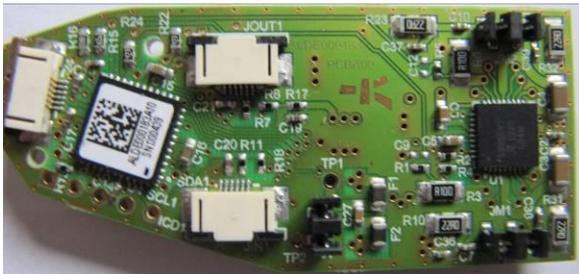
Ce sous-ensemble comporte 2 axes de liberté nommés :

- axe de tangage : *AnklePitch*
- axe de roulis : *AnkleRoll*



La photo ci-contre montre « l'intérieure » de la cheville.

Une seule carte de commande pilote les 2 axes.

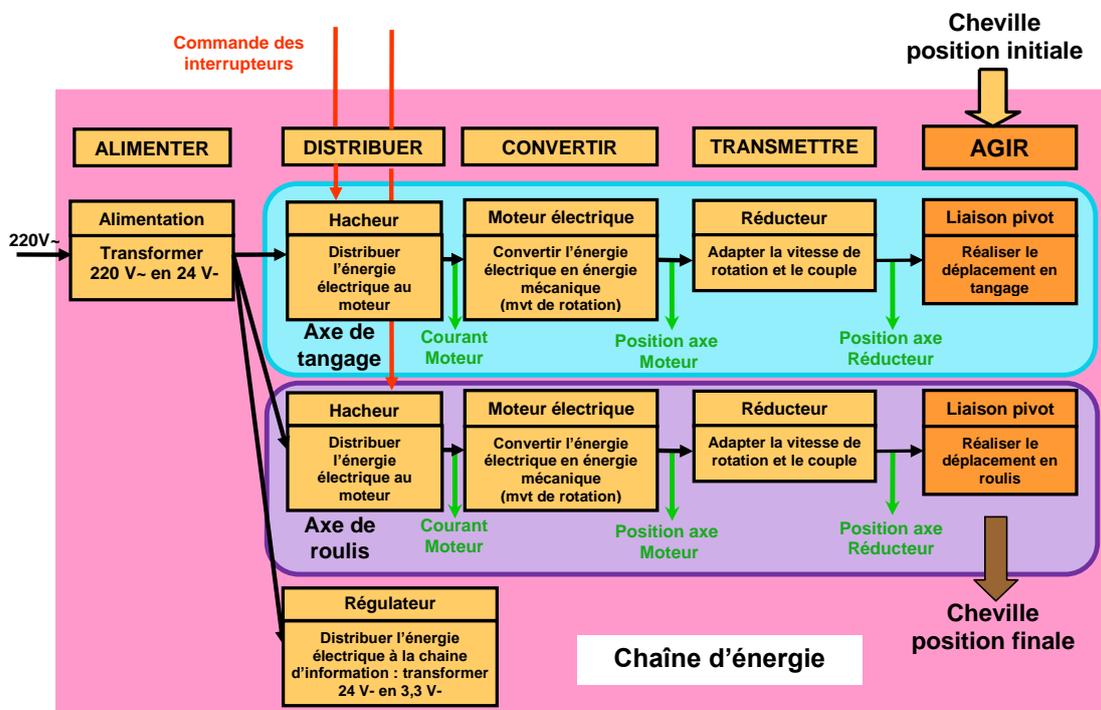


Ci-dessus les 2 faces de la carte de commande.

CHAINE D'ENERGIE

Organisation de la chaîne d'énergie

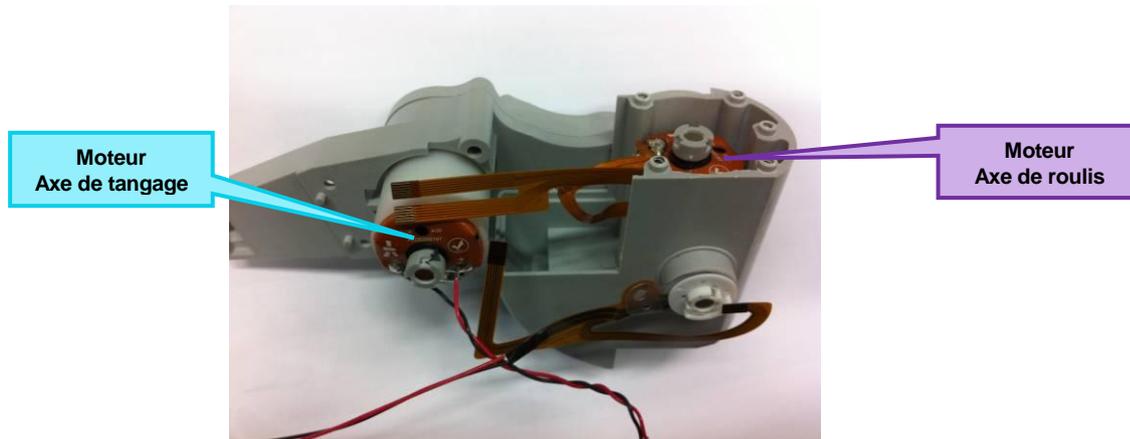
L'organisation de la chaîne d'énergie est la suivante :



Les 2 degrés de liberté sont contrôlés de la même façon.

Fonction Convertir

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



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

Portescap

MOTOR TYPE Brush DC Coreless

Model	22NT82213P
Number	x2
No load speed	8300 rpm \pm 10%
Stall torque	68 mNm \pm 8%
Continuous torque	16.1mNm max

Product Designation 22NT 82 213P 1001

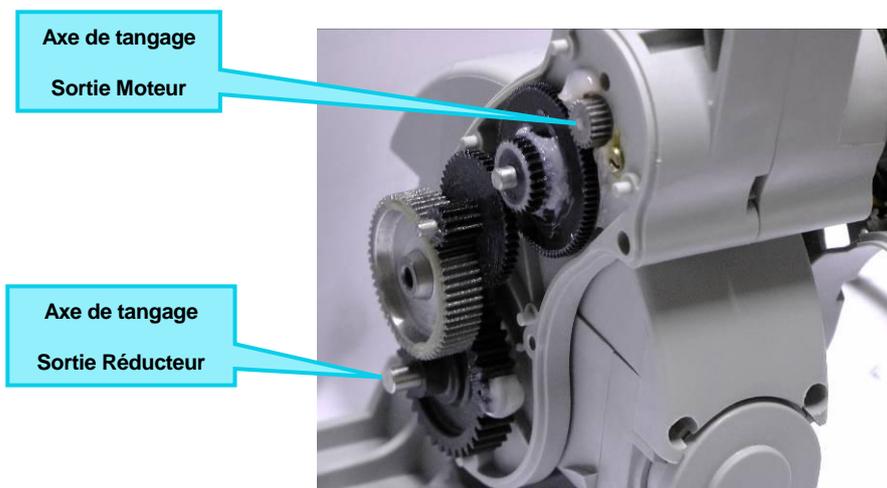
09/10

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/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%

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

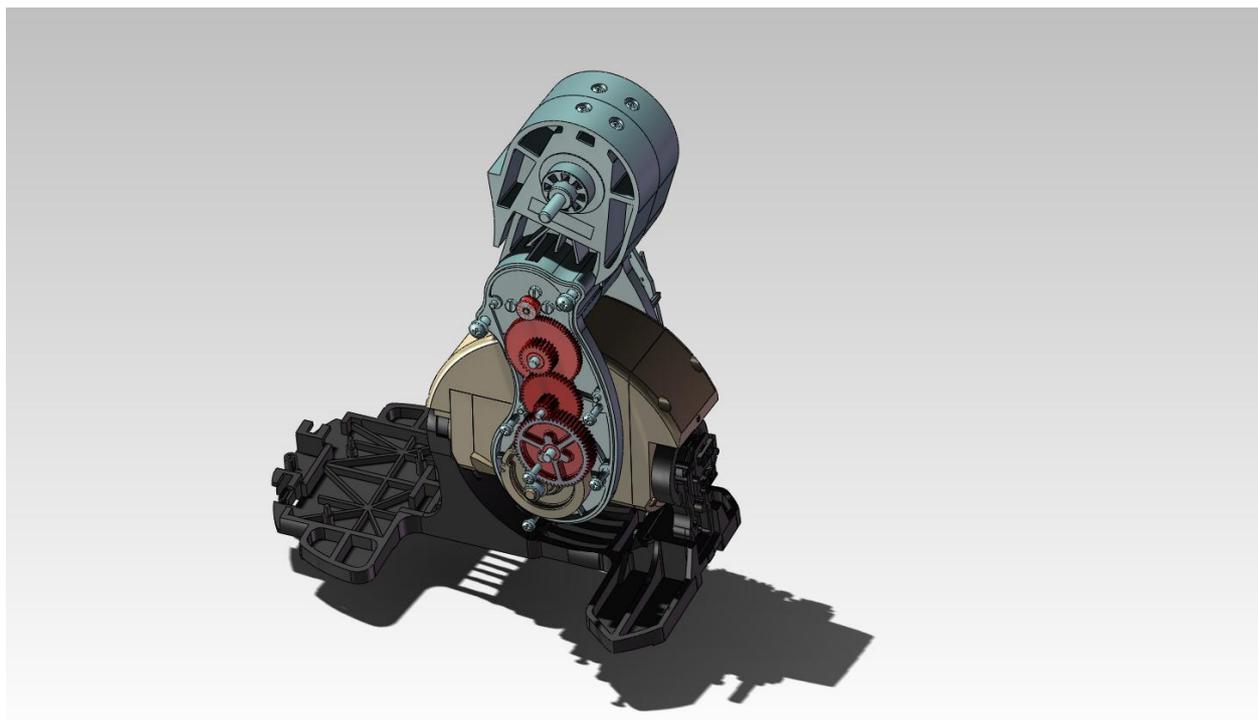
SPEED REDUCTION RATIO
ANKLEROLL

Reduction ratio 201.3

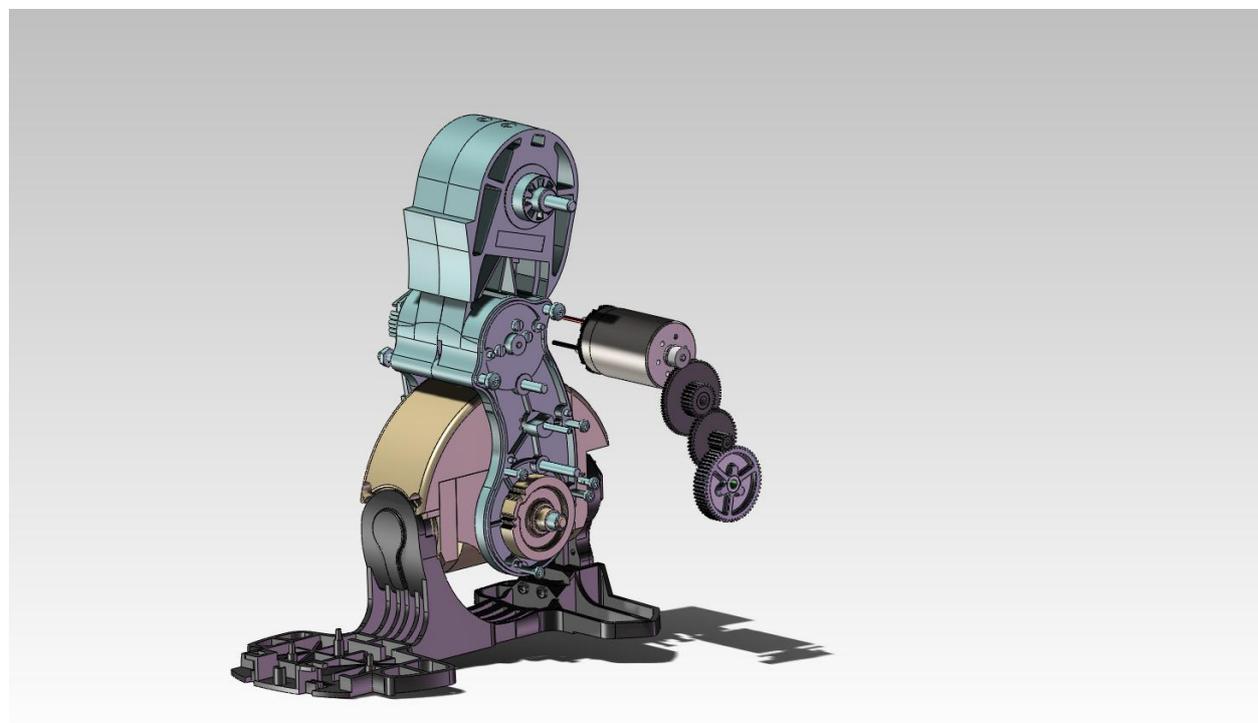
Ankle Pitch	Module	Z	Coefficient de déport	Entraxe de fonctionnement	Rapport de réduction
pignon_03_20	0,3	20	0	15	4
mobile_inf_1 - roue		80	0		
mobile_inf_1- pignon	0,4	25	0,214	14,5	1,88
mobile_inf_2 - roue		47	0,042		
mobile_inf_2 - pignon	0,4	12	0,564	14,5	4,83
mobile_inf_4 - roue		58	0,836		
mobile_inf_4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

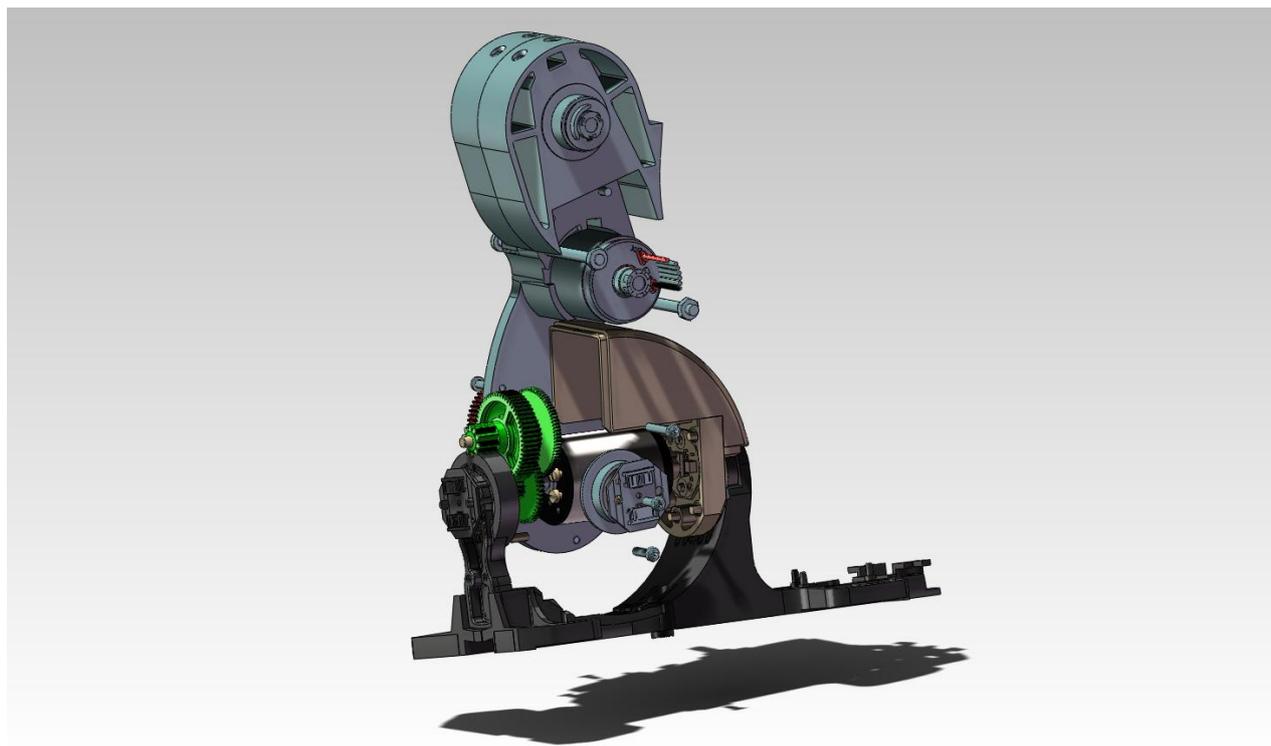
Ankle Roll	Module	Z	Coefficient de déport	Entraxe de fonctionnement	Rapport de réduction
pignon_03_13	0,3	13	0	13,95	6,15
mobile_inf_1 - roue		80	0		
mobile_inf_1- pignon	0,4	25	0,214	14,5	1,88
mobile_inf_2 - roue		47	0,042		
mobile_inf_2 - pignon	0,4	12	0,564	14,5	4,83
mobile_inf_3 - roue		58	0,836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

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



Chaine de transmission en tangage



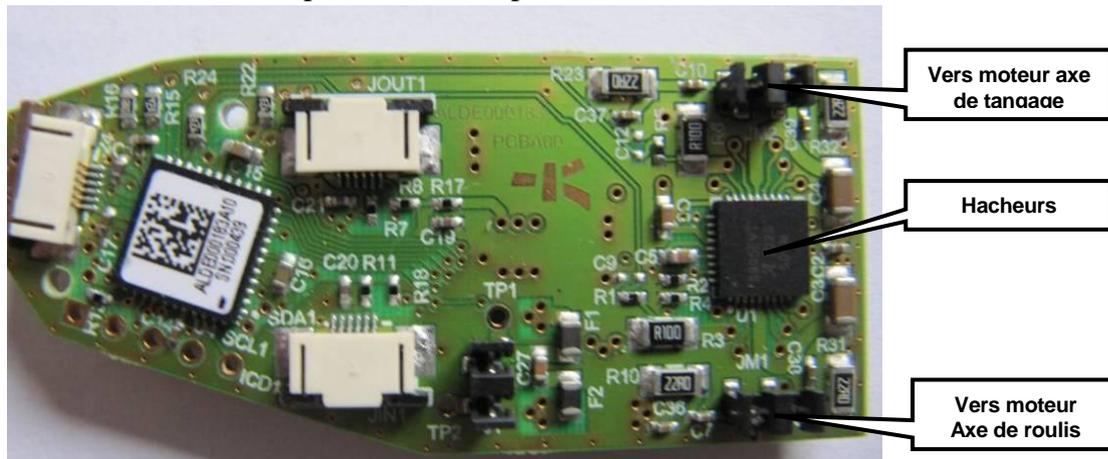


Chaine de transmission en roulis



Fonction Distribuer (Hacheurs)

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

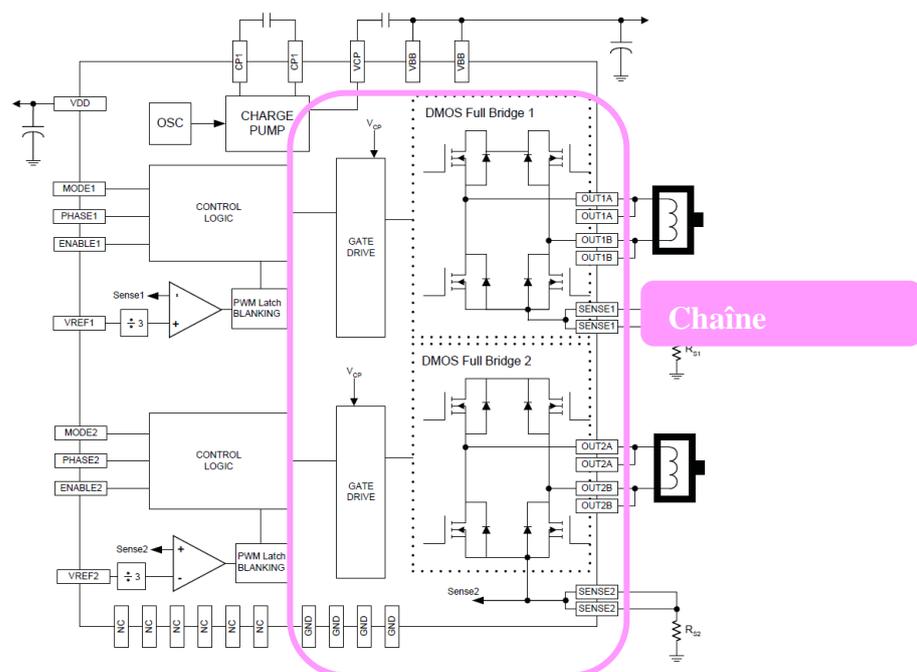


Les 2 hacheurs nécessaires pour alimenter les 2 moteurs des 2 axes sont réalisés par un seul composant : **A3995 d'Allegro**.

**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 :



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

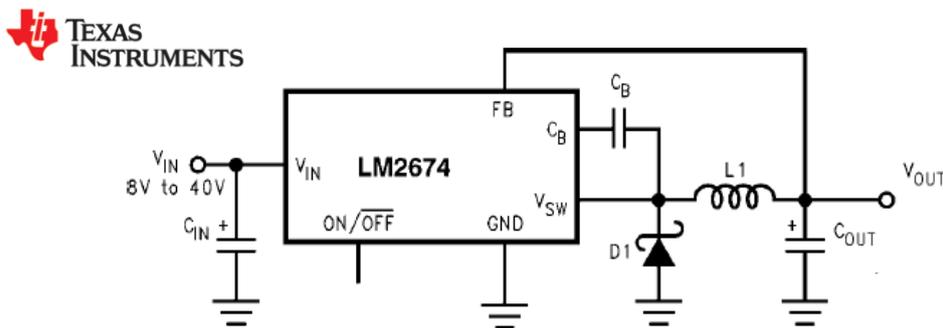
Fonction Distribuer (Régulateur)

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

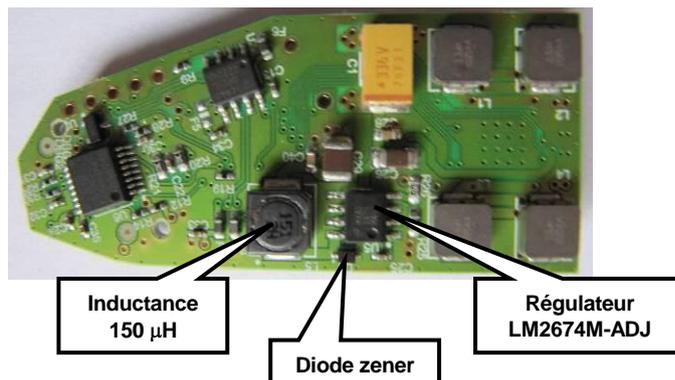
Le LM2674M permet d'obtenir une tension de sortie régulée à 3.3 V, 5 V ou 12 V et un courant maximal de 500 mA.

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.



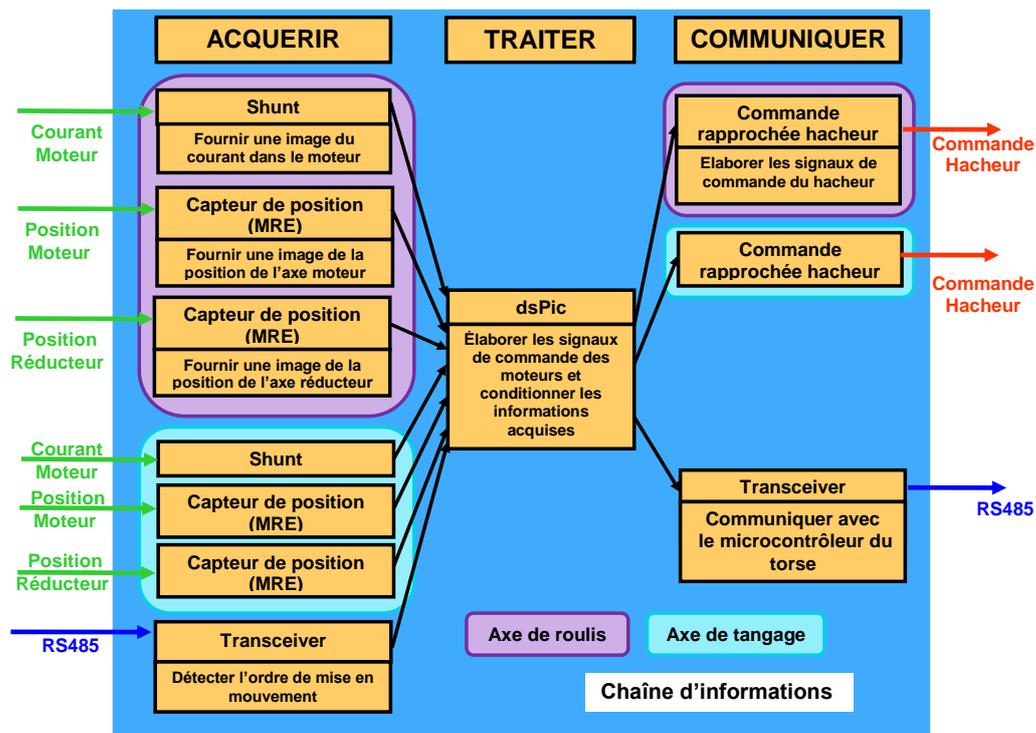
Fonction Alimenter (Alimentation)

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

CHAÎNE D'INFORMATION

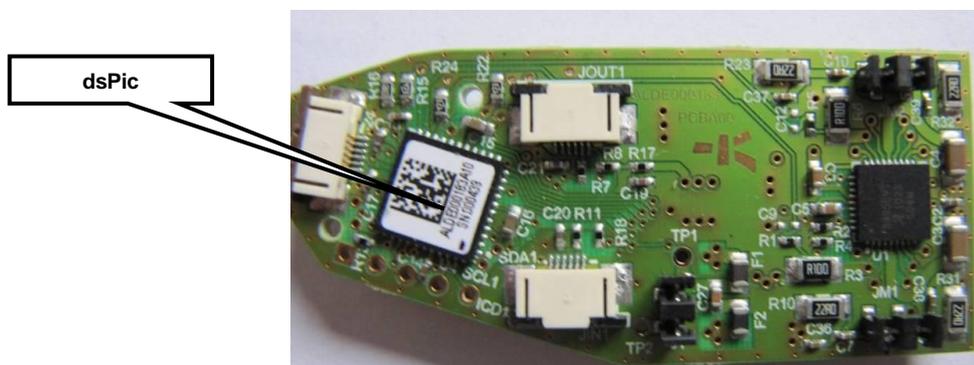
Organisation de la chaîne d'information

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



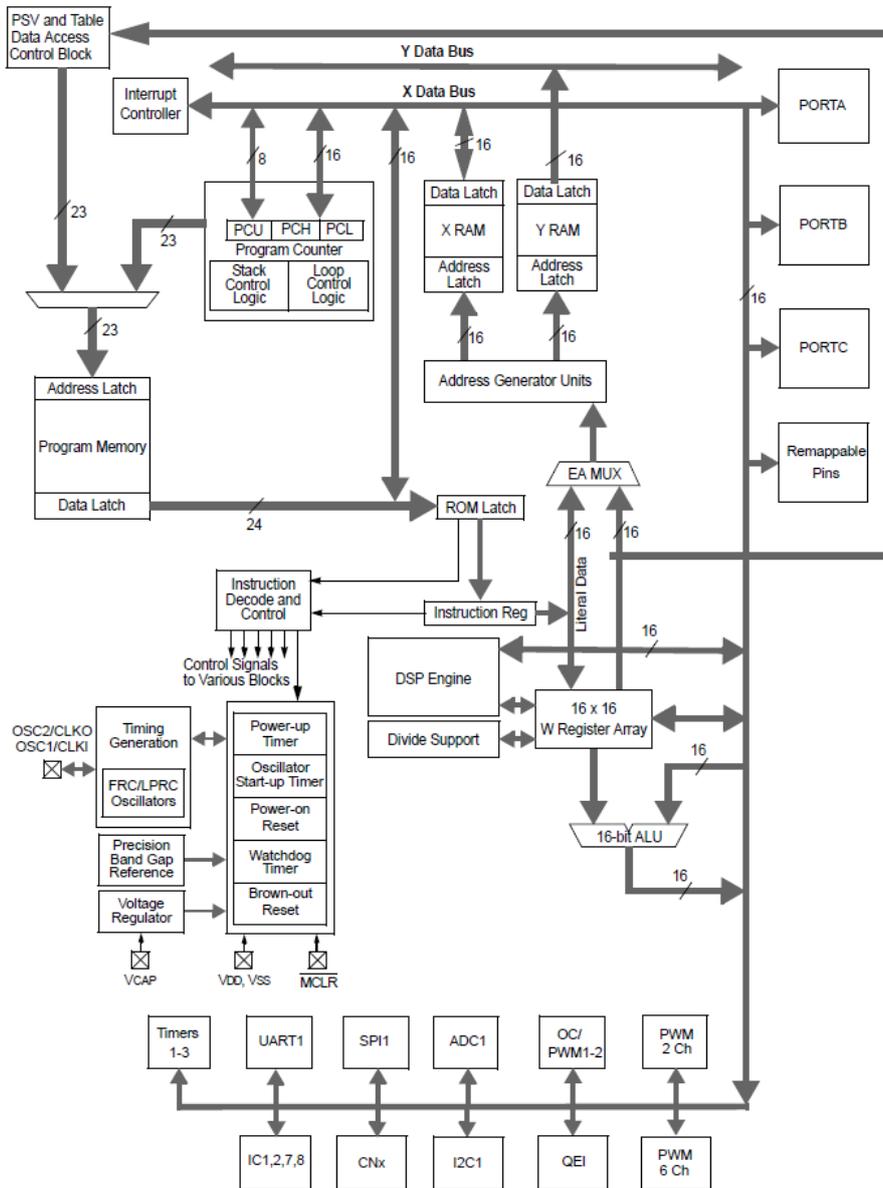
Fonction Traiter

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



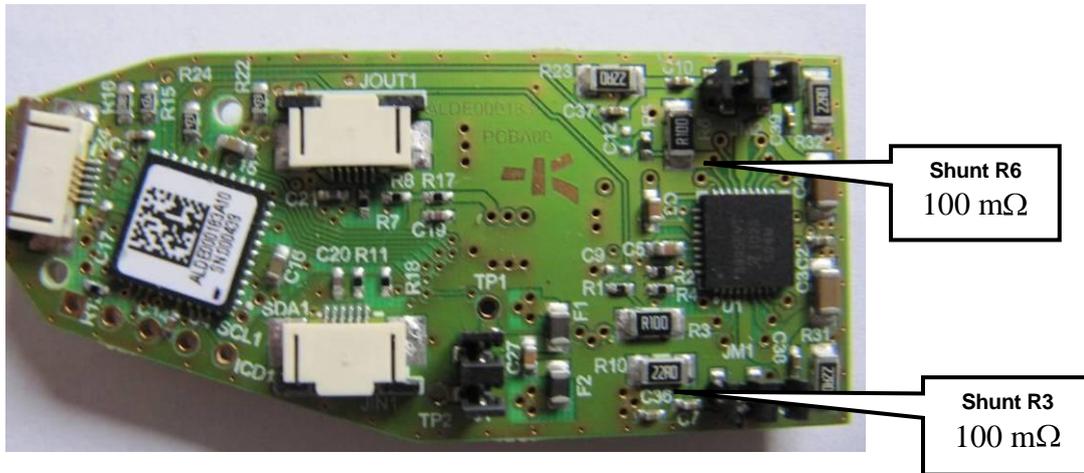
La structure interne est la suivante :

dsPIC33FJ32MC202/204



Fonction Acquéirir (Courant)

Deux résistances de 100 mΩ permettent de mesurer le courant moteur.

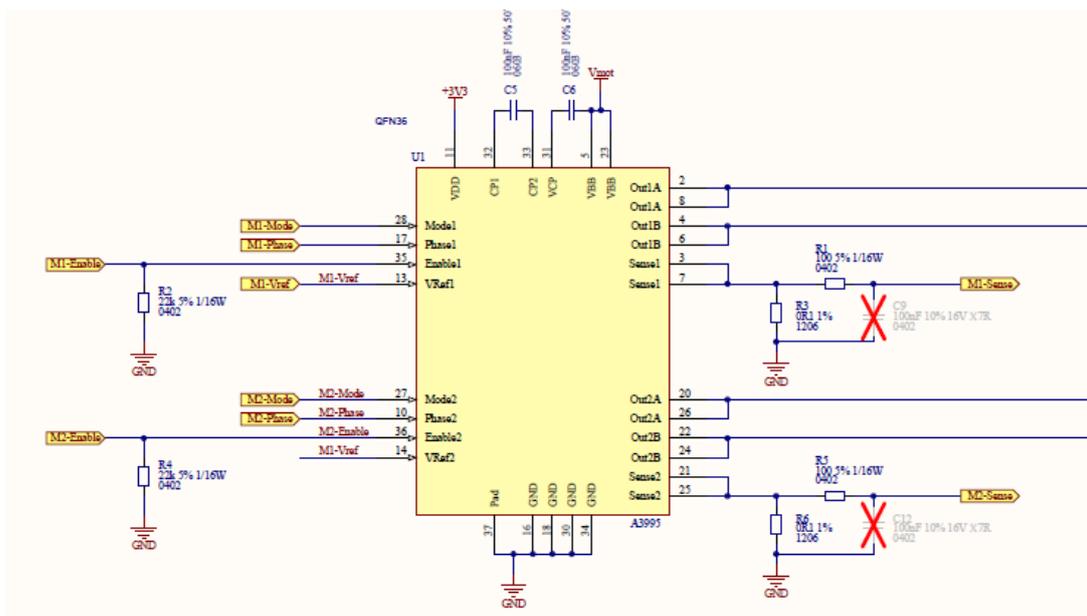
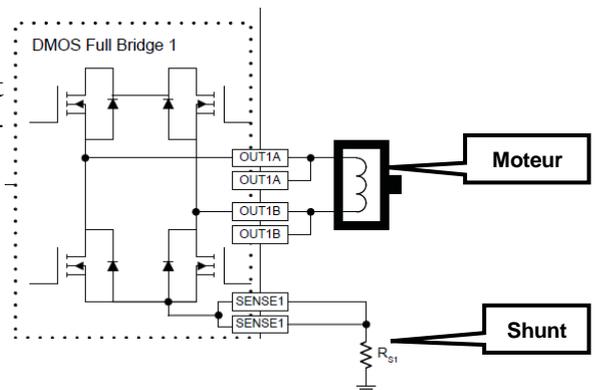


Le courant mesuré n'est pas le courant moteur, en effet le shunt n'est pas en série avec le moteur comme le montre le schéma ci-contre.

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.

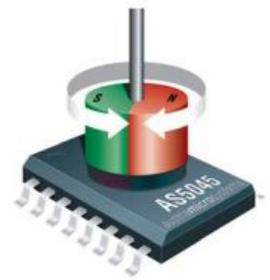
AS5045 12 Bit Programmable Magnetic Rotary Encoder

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

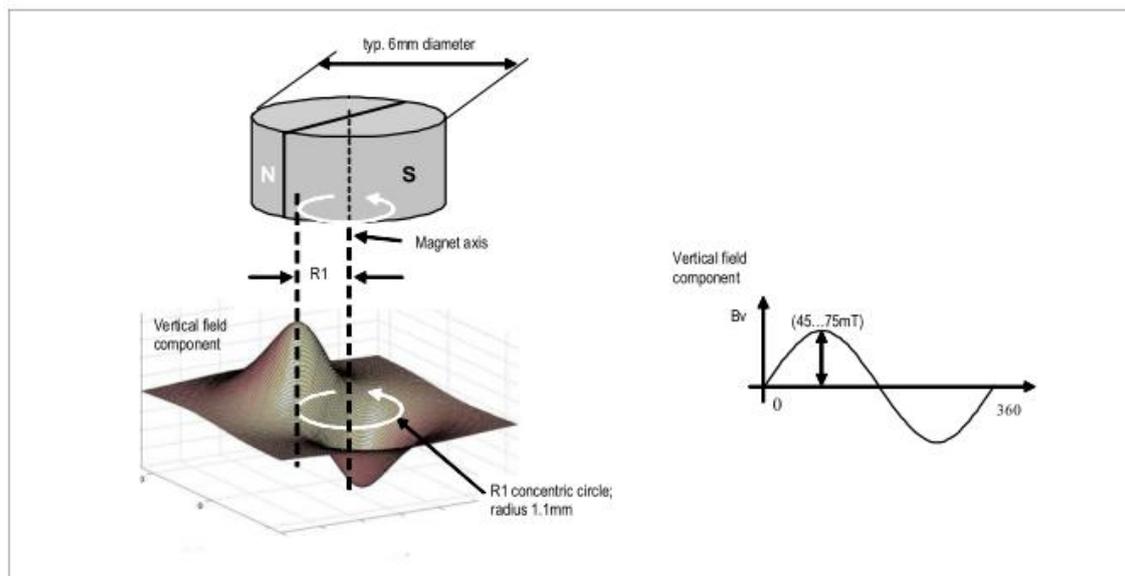
Pour mesurer un angle, un aimant circulaire centré au dessus du composant est nécessaire.

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

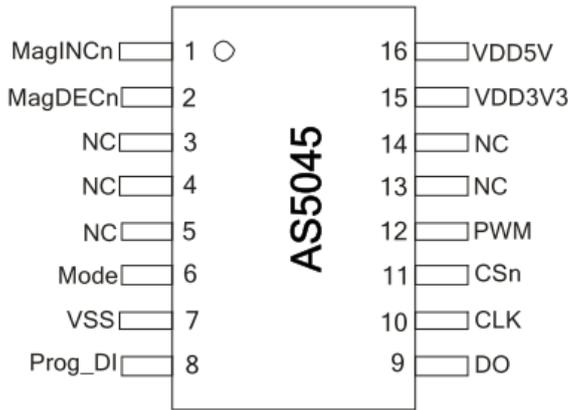
L'information peut être transmise sous forme analogique (signal PWM dont le rapport cyclique est proportionnel à l'angle) ou sous forme numérique (flot série de bits).



Répartition de l'induction magnétique



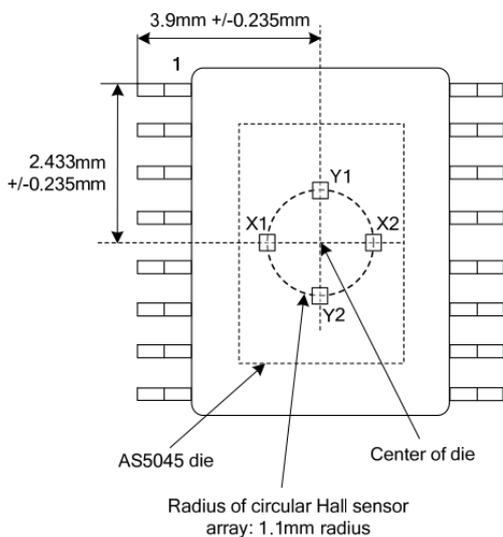
Le composant se présente sous la forme d'un boîtier SSOP 16 broches.



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.

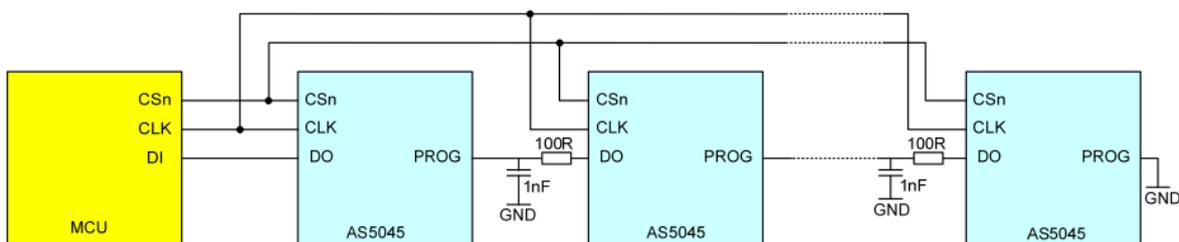
La différence des signaux issus des capteurs X1 et X2 est proportionnelle au cosinus de l'angle position.

Le déplacement angulaire est donnée par la relation :

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

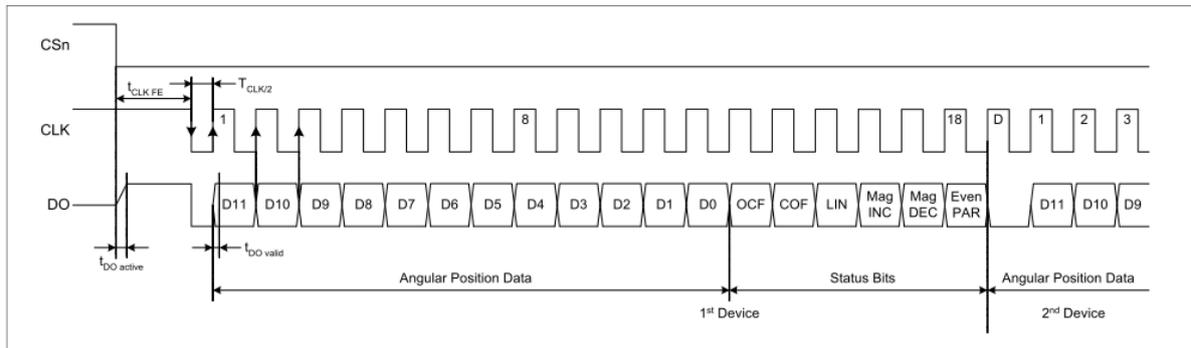
Mode Daisy Chain

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



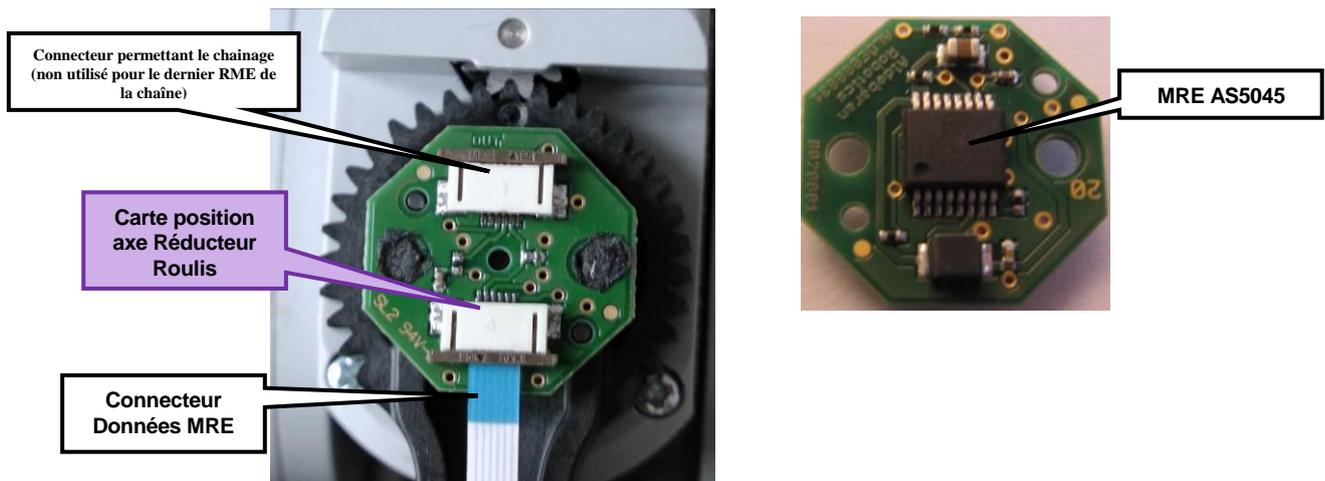
Dans ce cas les données sont lues sur la broche DO du premier MRE de la chaîne. Si nous avons n MRE connectés, la longueur de la trame est donnée par n.(18+1) bits.

Codage de la trame

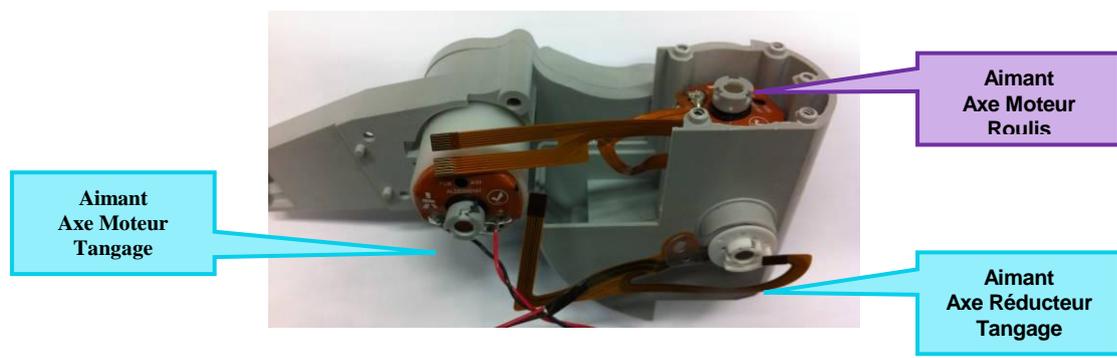


On retrouve le principe d'une transmission série synchrone classique.

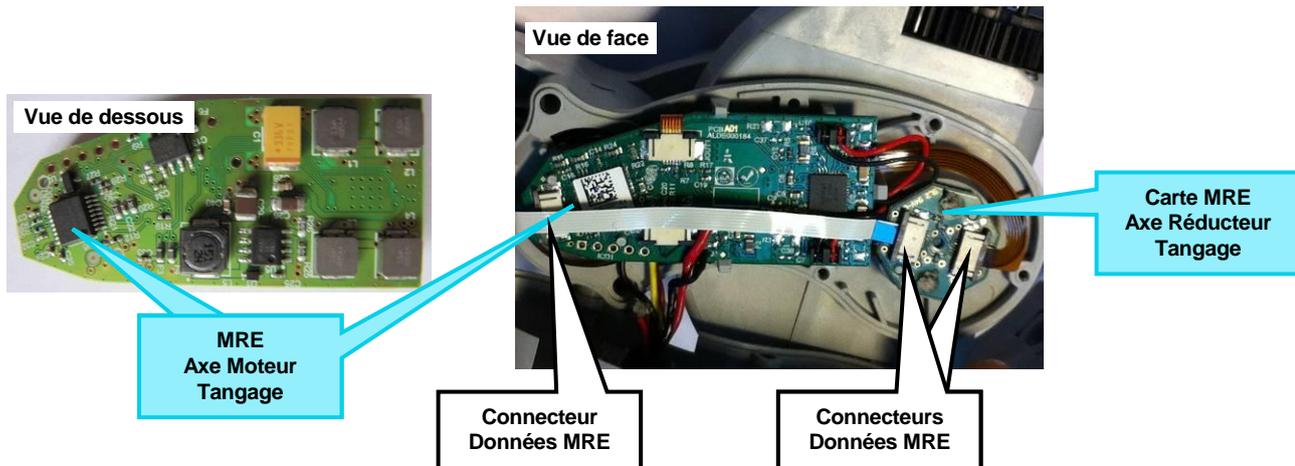
Pour 3 mesures de position, des circuits imprimés hexagonaux sont positionnés en face des axes.



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.



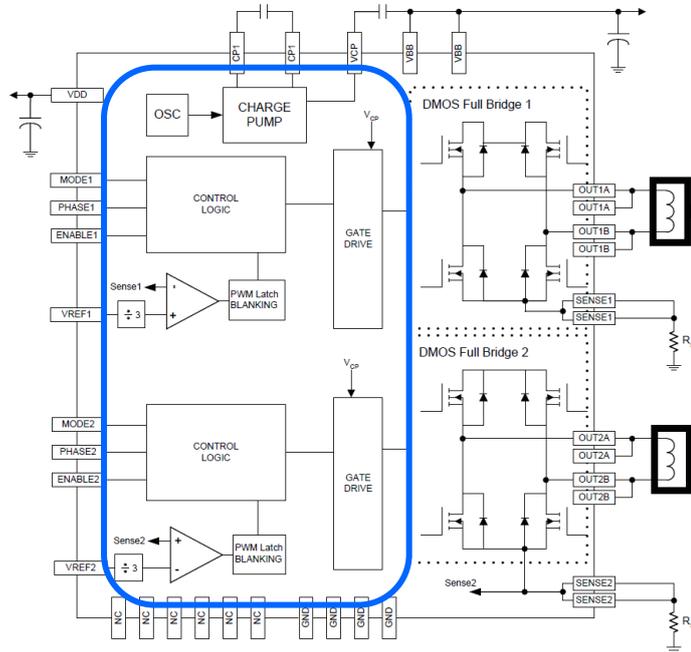
Voir des compléments sur les capteurs dans le document : [Additional_information.pdf](#)

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 :

Chaîne d'information



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.

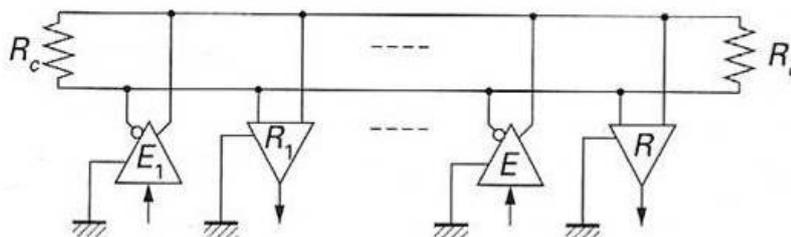
L'entrée mode est toujours fixée à 1.

Fonction Communiquer (RS485)

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

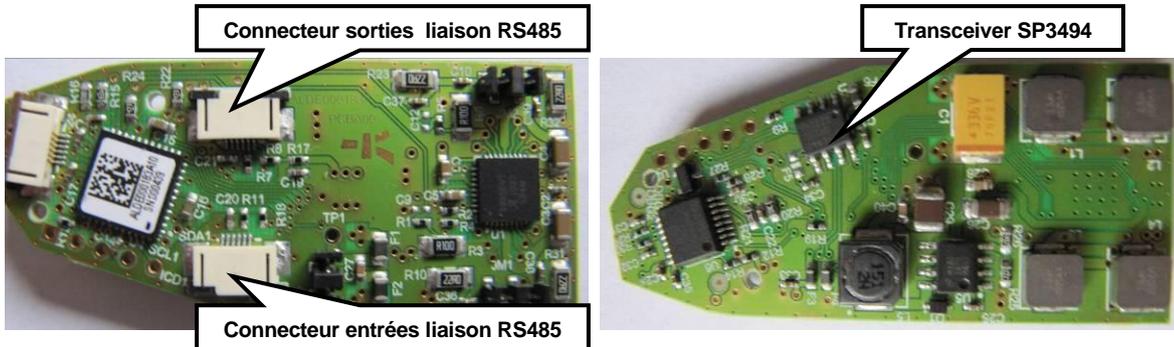
La liaison RS485 est réalisée par 2 fils en mode différentiel comme le montre la figure ci-dessous. Il s'agit d'une transmission synchrone bidirectionnelle (semi-duplex).

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

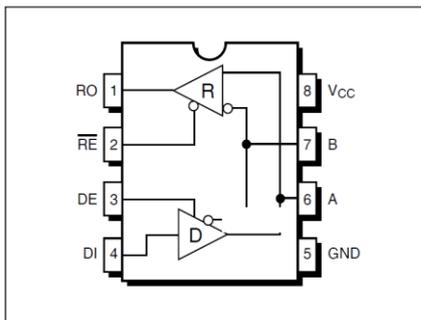


Il est nécessaire de placer des composants appelés transceiver qui définissent le mode émetteur ou récepteur.

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

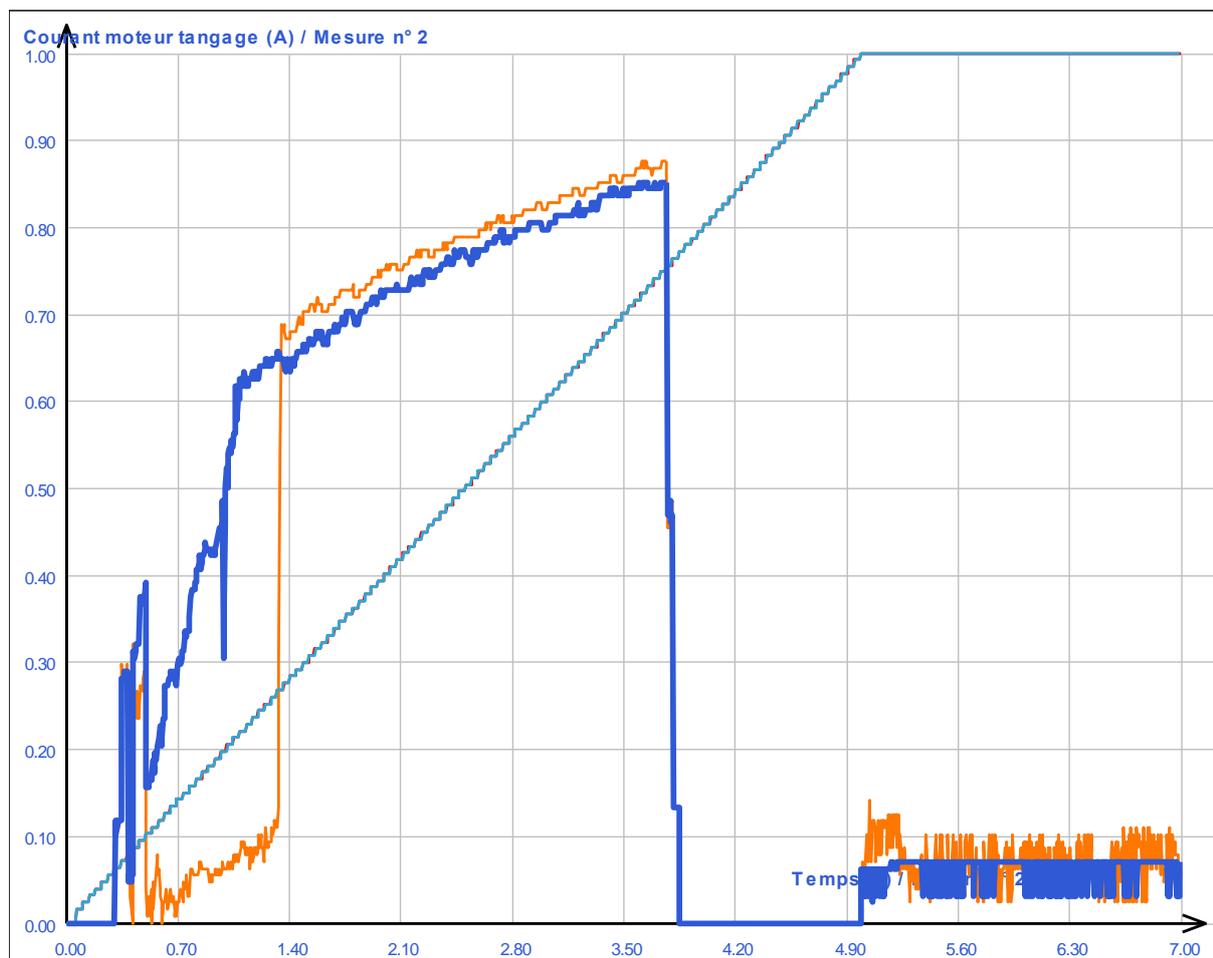
INPUTS		A - B	OUTPUTS
\overline{RE}	DE		R
0	0	+0.2V	1
0	0	-0.2V	0
0	0	Inputs Open	1
1	0	X	Z

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.

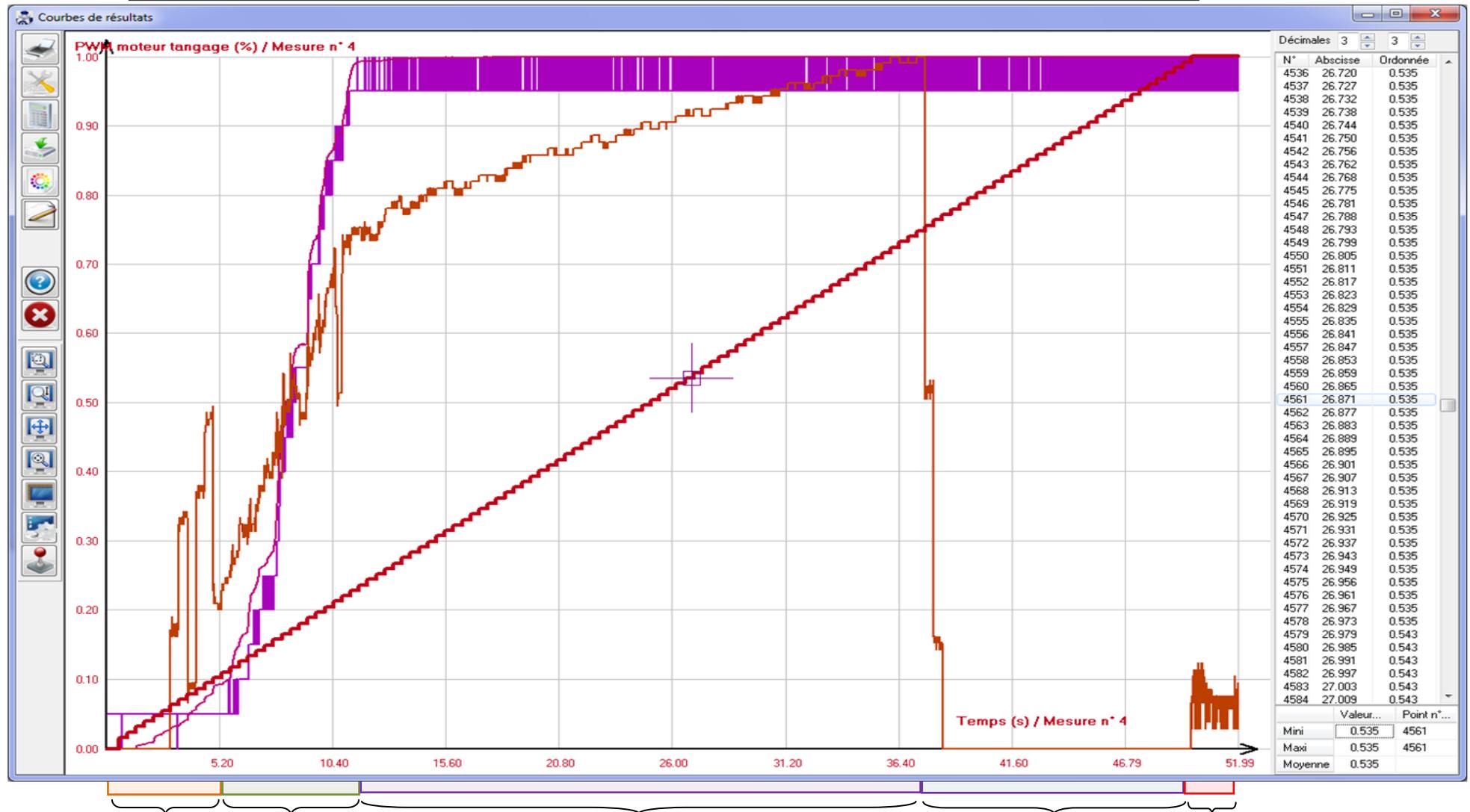
Il y a clairement ici une limitation du courant de type tout ou rien.

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)



0,0 < PWM < 0,11 :

La cheville ne bouge pas,
le moteur tourne (50° environ),
le courant croît en oscillant

0,11 < PWM < 0,24 :

La cheville tourne (2,1°),
le moteur tourne (340°),
le courant croît linéairement

0,24 < PWM < 0,75 :

La cheville est bloquée,
le moteur est bloqué,
le courant croît linéairement

0,75 < PWM < 1,0 :

La cheville est toujours bloquée,
le moteur est bloqué,
le courant dépasse le seuil limite (0.85
A), il est forcé à 0

PWM = 1,0 :

La cheville est bloquée,
le moteur est bloqué,
le courant est forcé à 0,1 A

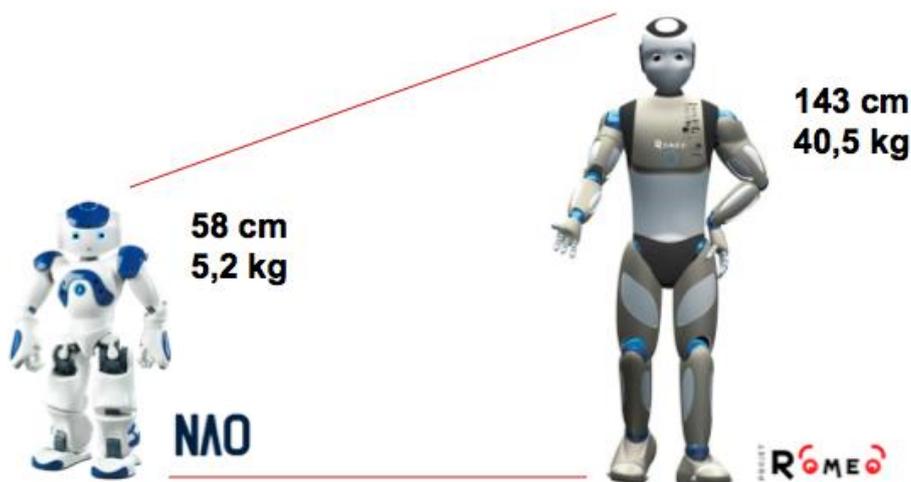
DE NAO VERS ROMEO



Un reportage effectué pour l'émission C'dans l'air « les robots sont parmi nous » diffusé le 15 mars 2012 est disponible.

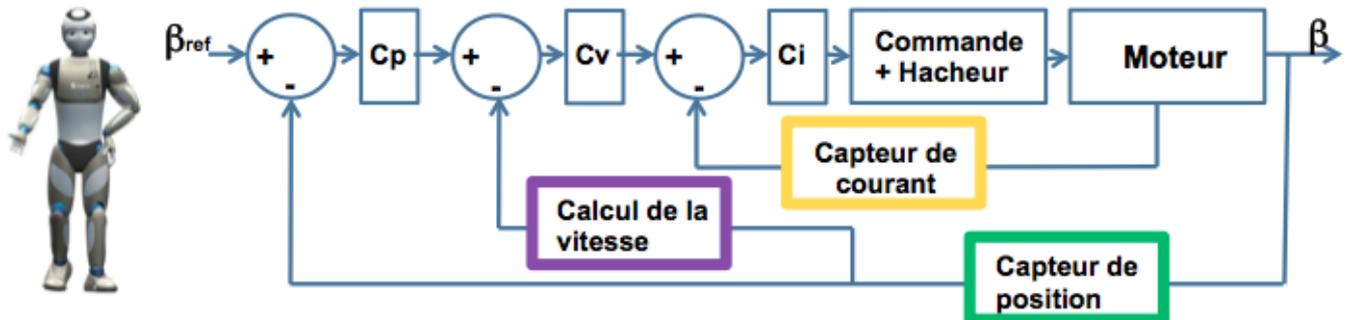
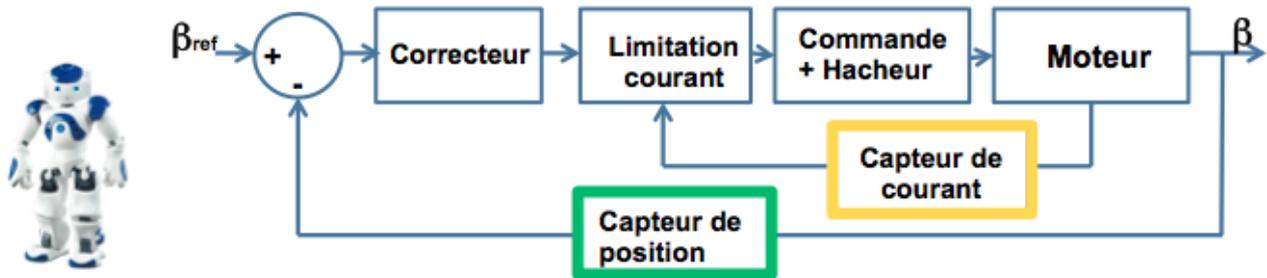
De Nao à Roméo (C'dans l'air).wmv

La société Aldebaran qui commercialise le robot Nao veut construire son grand frère Roméo. Roméo est prévu pour être un robot d'aide à la personne.



Le robot Nao a servi de démonstrateur. Certaines solutions technologiques pourront être réutilisées.

Si on raisonne sur la cheville, les contraintes mécaniques sur Roméo sont telles qu'il est nécessaire d'imbriquer 3 boucles de régulation (courant, vitesse et position) comme le montre la figure ci-dessous :



Voir les documents joints : [schema_asservissement-1.pdf](#) et [AsservRoméo.pdf](#)